



César Augusto da Conceição Barros

Licenciado

O E-Learning na Manutenção Industrial

Uma proposta de e-Learning aplicada à Manutenção Produtiva Total

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em
Engenharia e Gestão Industrial

Orientador: Prof. Doutor José António Mendonça Dias
Professor Auxiliar, Departamento de Engenharia
Mecânica e Industrial

Júri:

Presidente: Prof. Doutora Virgínia Helena Arimateia de Campos Machado
Arguente: Prof. Doutor Filipe José Didelet Pereira
Vogal: Prof. Doutor José António Mendonça Dias



FACULDADE DE
CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE NOVA DE LISBOA

Setembro de 2011

O E-Learning na Manutenção Industrial

Uma proposta de e-Learning aplicada à Manutenção Produtiva Total

©Copyright by César Augusto da Conceição Barros, FCT/UNL, UNL

A Faculdade de Ciências e Tecnologia e a Universidade Nova de Lisboa têm o direito, perpétuo e sem limites geográficos, de arquivar e publicar esta dissertação através de exemplares impressos reproduzidos em papel ou de forma digital, ou por qualquer outro meio conhecido ou que venha a ser inventado, e de a divulgar através de repositórios científicos e de admitir a sua cópia e distribuição com objectivos educacionais ou de investigação, não comerciais, desde que seja dado crédito ao autor e editor.

Agradecimentos

Agradeço ao Professor Doutor José António Mendonça Dias a dedicação, empenho e competência com que me orientou a Tese e me deu todos os ensinamentos e esclarecimentos que lhe fui solicitando ao longo do período em que decorreu a realização deste trabalho.

Também agradeço ao restante corpo docente do Departamento de Engenharia Mecânica e Industrial e designadamente ao Professor Doutor Rogério Salema Araújo Puga Leal, todos os esclarecimentos e apoio prestado.

Resumo

Na sociedade actual, em que o conhecimento é um factor decisivo para a competitividade e a sobrevivência das empresas, a manutenção industrial constitui uma função essencial e estratégica para a viabilidade económica das empresas industriais. Face aos novos desafios da globalização e do desenvolvimento tecnológico é necessário elaborar propostas de modelos de formação adaptados às exigências das empresas. Neste trabalho é proposto um modelo de formação e-Learning assente na plataforma Moodle que articula as necessidades da empresa com os interesses dos trabalhadores.

Palavras-chave: Manutenção; Qualidade; Fiabilidade; E-Learning; Formação profissional.

Abstract

In today's society, where knowledge is a decisive factor for competitiveness and survival of businesses, industrial maintenance is an essential and strategic for the economic viability of industrial enterprises. Given the new challenges of globalization and technological development is necessary to draw up proposals for training models tailored to corporate requirements. This paper proposes a training model based on e-Learning Moodle platform that articulates the needs of the company with the interests of workers.

Keywords: Maintenance; Quality; Reliability; E-Learning; Training.

Índice de matérias

1	Introdução	1
1.1	Formulação da situação – problema.....	5
1.1.1	Questões de investigação	6
1.2	Metodologia da Investigação	6
1.2.1	Paradigmas	6
1.2.2	Tipo de investigação.....	7
1.2.3	Metodologia	8
1.3	Organização do estudo	9
2	Revisão da Literatura	11
2.1	Qualidade	11
2.2	Fiabilidade.....	16
2.2.1	Introdução à análise estatística das falhas	16
2.2.2	Sistemas Reparáveis.....	24
2.2.3	Funções de distribuição aplicadas à fiabilidade	41
2.3	Manutenção	47
2.3.1	Enquadramento histórico.....	47
2.3.2	Tipos de Manutenção	50
2.3.3	Manutenção condicionada.....	53
2.3.4	Tribologia.....	56
2.3.5	Problemas ambientais.....	63
2.3.6	Manutenção Produtiva Total	66
2.3.7	Manutenção Baseada na Fiabilidade	75
2.3.8	Estratégia de manutenção.....	77
2.3.9	Indicadores de manutenção	79
2.3.10	Calibração.....	82
2.3.11	e-Manutenção	86
2.4	e-Learning	86
2.4.1	Redes sociais	88
2.4.2	Video educativo.....	89
2.4.3	Social bookmarking.....	89
2.4.4	Elaboração de curso online.....	90
2.4.5	Plataformas LMS.....	91
2.4.6	Aprendizagem	96
2.4.7	Métodos pedagógicos.....	100

2.4.8	Recursos Didáticos	103
2.4.9	Qualidade dos materiais didáticos	104
2.5	Questionários.....	105
2.6	Formação profissional	108
2.6.1	Análise de modelos de formação.....	110
2.7	Articulação com o ensino formal	111
2.8	Formação em Manutenção	113
3	Proposta.....	117
3.1	Organização da formação.....	117
3.2	Articulação com o ensino formal	119
3.3	Objectivos , conteúdos e competências	126
3.4	Metodologia	132
3.5	Recursos didáticos	133
3.5.1	Manual didáctico	133
3.5.2	Aplicação Excel (problemas de fiabilidade)	134
3.5.3	Aplicação Latex/Acrobat (actividades)	138
3.6	Avaliação.....	141
3.6.1	Avaliação dos formandos	141
3.6.2	Avaliação do curso	142
3.6.3	Proposta de Referencial	145
4	Conclusões	147
	Bibliografia	149
	ANEXO A – Questionário de avaliação do curso	156

Índice de Figuras

FIGURA 1-1: MODELOS ORGANIZATIVOS	2
FIGURA 1-2: METODOLOGIA	9
FIGURA 2-1: VARIAÇÃO DA TAXA DE FALHAS DURANTE A VIDA DE UM SISTEMA ()	25
FIGURA 2-2: TESTE DE LAPLACE	27
FIGURA 2-3: REPRESENTAÇÃO ESQUEMÁTICA DE UM HPP	29
FIGURA 2-4: CURVA CARACTERÍSTICA DO TESTE	31
FIGURA 2-5: GRÁFICO DO TESTE SEQUENCIAL	32
FIGURA 2-6: SISTEMA DE TRÊS COMPONENTES EM SÉRIE	36
FIGURA 2-7: SISTEMA REDUNDANTE TOTAL	37
FIGURA 2-8: SISTEMA "SÉRIE DE PARALELOS"	38
FIGURA 2-9: SISTEMA "PARALELO DE SÉRIES"	39
FIGURA 2-10: SISTEMA REDUNDANTE PARCIAL	40
FIGURA 2-11: SISTEMA SEQUENCIAL OU STANDBY	40
FIGURA 2-12: SISTEMA COMPLEXO	41
FIGURA 2-13: GRÁFICOS DO MODELO NORMAL	44
FIGURA 2-14: GRÁFICO DE F(T) NO MODELO LOG-NORMAL	45
FIGURA 2-15: GRÁFICOS DO MODELO EXPONENCIAL	46
FIGURA 2-16: INTEGRAÇÃO HOLÍSTICA DA MANUTENÇÃO	50
FIGURA 2-17: PROCEDIMENTOS DE MANUTENÇÃO CONDICIONADA MAIS UTILIZADOS	56
FIGURA 2-18: CONJUNTO MOENTE/CHUMACEIRA	57
FIGURA 2-19: EVOLUÇÃO DA FALHA. FALHA POTENCIAL	61
FIGURA 2-20: FONTE: JIPM – JAPAN INSTITUTE PLANT OF MAINTENANCE	67
FIGURA 2-21: PILARES DO TPM	68
FIGURA 2-22: PILARES DO 5S	69
FIGURA 2-23: CLASSIFICAÇÃO DAS FALHAS	76
FIGURA 2-24: ESTRATÉGIA DE MANUTENÇÃO	78
FIGURA 2-25: INDICADORES DE MANUTENÇÃO	81
FIGURA 2-26: HIERARQUIA DO SISTEMA METROLÓGICO (CEFET, 2008)	83
FIGURA 2-27: APLICAÇÃO DO CONCEITO DE E-MANUTENÇÃO, DA DYNAWEB	86
FIGURA 2-28: PLATAFORMA MOODLE - AS MINHA DISCIPLINAS	93
FIGURA 2-29: PLATAFORMA MOODLE - LISTA DE TÓPICOS	94
FIGURA 2-30: PLATAFORMA MOODLE - CONTACTOS	94
FIGURA 2-31: PLATAFORMA MOODLE - UTILIZADOR	95
FIGURA 2-32: PLATAFORMA MOODLE - EVENTOS	95
FIGURA 2-33: MODELO DO PROCESSAMENTO DE INFORMAÇÃO SOBRE A APRENDIZAGEM - GAGNÉ	97
FIGURA 2-34: MAPA CONCEPTUAL – ANDRAGOGIA	98
FIGURA 2-35: PIRÂMIDE DE MOTIVAÇÕES DE MASLOW	99
FIGURA 2-36: COMPARAÇÃO ENTRE AS HIERARQUIAS DAS NECESSIDADES DE MASLOW E OS FACTORES DE HIGIENE-MOTIVAÇÃO DE HERZEBERG	100
FIGURA 2-37: O CÍRCULO DE BLOOM	103
FIGURA 2-38: MODELOS DE APRENDIZAGEM À DISTÂNCIA	111
FIGURA 2-39: REFERENCIAL DE COMPETÊNCIAS	113
FIGURA 2-40: CURRÍCULO DO CURSO ILEARN2MAIN	114
FIGURA 2-41: ESTRUTURA E FERRAMENTAS DOS CURSO ILEARN2MAIN	115
FIGURA 2-42: AVALIAÇÃO DO CURSO ILEARN2MAIN	115
FIGURA 3-1: ESTRUTURA DO MANUAL DIDÁCTICO	133
FIGURA 3-2: FUNÇÕES DE DENSIDADE DE PROBABILIDADE PARA DIVERSOS VALORES DE A	135
FIGURA 3-3: ESTUDO DA FIABILIDADE – GRÁFICOS DE FUNÇÕES	138

FIGURA 3-4: FICHA INTERACTIVA COM AUTOCORRECÇÃO	139
FIGURA 3-5: AVALIAÇÃO DO FORMANDO.....	142
FIGURA 3-6: GRÁFICO QUI-QUADRADO.....	144

Índice de Tabelas

TABELA 2-1: INSTRUMENTOS DE MELHORIA DA QUALIDADE (APLICADOS À MANUTENÇÃO).....	14
TABELA 2-2: PRINCÍPIOS DA QUALIDADE TOTAL APLICADOS À MANUTENÇÃO	15
TABELA 2-3: RELAÇÕES MATEMÁTICAS ENTRE AS FUNÇÕES DA FIABILIDADE $F(T)$, $F(T)$, $R(T)$ E $H(T)$	23
TABELA 2-4: TESTE DE GARANTIA DE FIABILIDADE	31
TABELA 2-5: TÉCNICAS DE DIAGNÓSTICO MAIS UTILIZADAS	54
TABELA 2-6: ANÁLISE DE ÓLEOS - TIPOS DE TESTES	58
TABELA 2-7: IMPLEMENTAÇÃO DO TPM.....	74
TABELA 2-8: RETENÇÃO DE INFORMAÇÃO	101
TABELA 3-1: UFCD STC 1 - COMPETÊNCIAS E CONTEÚDOS.....	120
TABELA 3-2: UFCD STC 2 - COMPETÊNCIAS E CONTEÚDOS.....	121
TABELA 3-3: UFCD STC 3 - COMPETÊNCIAS E CONTEÚDOS.....	122
TABELA 3-4: UFCD STC 4 - COMPETÊNCIAS E CONTEÚDOS.....	123
TABELA 3-5: UFCD STC 5 - COMPETÊNCIAS E CONTEÚDOS.....	123
TABELA 3-6: UFCD STC 6 - COMPETÊNCIAS E CONTEÚDOS.....	124
TABELA 3-7: UFCD STC 7 - COMPETÊNCIAS E CONTEÚDOS.....	125
TABELA 3-8: CORRESPONDÊNCIA DE COMPETÊNCIAS (UFCDs).....	125
TABELA 3-9: FICHA DE OBJECTIVOS, RECURSOS E ACTIVIDADES - INTRODUÇÃO AO CURSO. PLATAFORMA MOODLE.....	126
TABELA 3-10: FICHA DE OBJECTIVOS, RECURSOS E ACTIVIDADES - MANUTENÇÃO INDUSTRIAL	127
TABELA 3-11: FICHA DE OBJECTIVOS, RECURSOS E ACTIVIDADES - INTRODUÇÃO AO TPM	128
TABELA 3-12: FICHA DE OBJECTIVOS, RECURSOS E ACTIVIDADES - LUBRIFICAÇÃO, SEGURANÇA E AMBIENTE.....	129
TABELA 3-13: FICHA DE OBJECTIVOS, RECURSOS E ACTIVIDADES - MANUTENÇÃO PREDITIVA (OU CONDICIONADA).....	130
TABELA 3-14: FICHA DE OBJECTIVOS, RECURSOS E ACTIVIDADES - PROBABILIDADES, FIABILIDADE E QUALIDADE.....	131
TABELA 3-15: CABEÇALHO DO CÓDIGO FONTE LATEX.....	139
TABELA 3-17: HIPÓTESES DE INVESTIGAÇÃO E AVALIAÇÃO.....	143
TABELA 3-18: TABELA DE CONTINGÊNCIA - COMUNICAÇÃO/COLABORAÇÃO - REPOSITÓRIO DE RECURSOS EDUCATIVOS.....	143
TABELA 3-19: TABELA DE CONTINGÊNCIA - FORMAÇÃO MINISTRADA - QUALIDADE DO DESEMPENHO PROFISSIONAL.....	143
TABELA 3-20: REFERENCIAL DE COMPETÊNCIAS - MODERNIZAÇÃO DA MANUTENÇÃO.....	146

Lista de acrónimos

A_k^n	Arranjos sem repetição de n elementos, k a k
BIPM	Bureau Internacional de Pesos e Medidas
C_k^n	Combinações de k element. distintos, num conj.com n elementos
D	Disponibilidade estacionária
D_i	Disponibilidade intrínseca
D_o	Disponibilidade operacional
$F(t)$	Função acumulada de probabilidade de falha
$f(t)$	Função densidade de probabilidade de falha
FMECA	Failure Mode Effect and Criticality Analysis
GMAC	Gestão da Manutenção Assistida por Computador
h	Altura de separação
$h(t)$	Função de risco
HPP	Processo de Poisson Homogéneo
JIT	Just In Time
LMS	Learning Management System
MM	Modernização da manutenção
Moodle	Modular Object-Oriented Dynamic Learning Environment
MTBF	Mean Time to Repair
MTBM	Tempo médio entre intervenções de manutenção
MTPM	Tempo médio de paragem de equipamento (para manut.prevent.)
MTTF	Tempo médio de falha
MTTR	Tempo médio de reparação

$N(t)$	Número de avarias acumuladas entre 0 e t
NHPP	Processo de Poisson não Homogéneo
OEE	Overall Equipment Effectiveness
OLN	Open Learning Network
$P(A)$	Probabilidade de um acontecimento A
P_e	Pressão
PLE	Personal Learning Environment
PME	Pequenas e médias empresas
PMP	Plano de manutenção preventiva
PRA	Portefólio reflexivo de aprendizagens
PRAP	Portefólio reflexivo de aprendizagens profissionais
q	Caudal de lubrificante
$R(t)$	Função de fiabilidade
RAMS	Reliability, Availability, Maintainability, Security
RCM	Reability -Centered Maintenance
RVCC	Reconhecimento, validação e certificação de competências
s	Desvio padrão da amostra
SAN	Strong Acid Number
SBN	Strong Base Number
SCORM	Sharable Content Object Reference Model
SNQ	Sistema Nacional de Qualificações
SR	Sistemas reparáveis
STC	Sociedade, Tecnologia e Ciência
TAN	Total Acid Number

TBN	Total Base Number
TIC	Tecnologias de Informação e Comunicação
T_p	Tempo inoperacional
TPM	Total Productive Maintenance
TQM	Total Quality Management
TTR	Time to Repair
T_u	Tempo activo
u	Velocidade do fluido
UFCD	Unidade de formação de curta duração
u_p	Incerteza padrão
V_{abs}	Viscosidade absoluta
V_{cin}	Viscosidade cinemática
$\lambda(t)$	Taxa de falhas
μ	Taxa de Reparações

1 Introdução

O progresso industrial reforçou a importância da função manutenção na generalidade das empresas industriais e das sociedades mais desenvolvidas. Com efeito, a produção depende da operacionalidade dos equipamentos e das instalações industriais, sem os quais não é possível cumprir os objectivos de produção, em quantidade e em qualidade, dentro dos prazos estabelecidos.

Dentro das organizações, a função manutenção tem uma importância económica de relevo em diversos sectores industriais, envolvendo parte significativa da mão-de-obra. Por exemplo, em Espanha, em 1993, empregava cerca de 7% da população activa e os custos de manutenção representavam cerca de 5,5% das vendas e 67% dos lucros (Steinko, 1998). Mais recentemente, em 2000, cerca de 9,4% do Produto Interno Bruto Espanhol era destinado ao sector da manutenção (Fernández, 2005).

A globalização agravou as condições de competitividade e promoveu profundas alterações nas empresas que conduziram à redução dos níveis hierárquicos e ao alargamento do espaço de intervenção dos trabalhadores, nomeadamente dos que estão nos níveis inferiores da estrutura hierárquica.

Entretanto, é possível distinguir dois aspectos essenciais e caracterizadores da situação actual. Por um lado as transformações tecnológicas têm aumentado a complexidade dos equipamentos e das instalações industriais, por outro, as empresas enfrentam acrescidos problemas de competitividade e de sobrevivência.

Para conseguirem uma melhoria no seu desempenho, rendimento e produtividade as empresas necessitam de se reorganizar e de melhorar a qualificação da mão-de-obra. Também o desenvolvimento de novos sistemas de organização, de gestão da produção e da manutenção estão na origem de frequentes reajustamentos dos quadros de pessoal e requerem, dos trabalhadores, novos conhecimentos e competências.

As empresas necessitam de encontrar formas de organização que as tornem mais competitivas, melhorem os fluxos internos de informação, favoreçam a aprendizagem e o desenvolvimento profissional e a mobilização e a participação esclarecida dos trabalhadores. Partindo da estrutura clássica têm vindo a ser implementados novos modelos organizativos nas unidades empresariais (Tóbon, Sánchez, Carretero, & García, 2006).

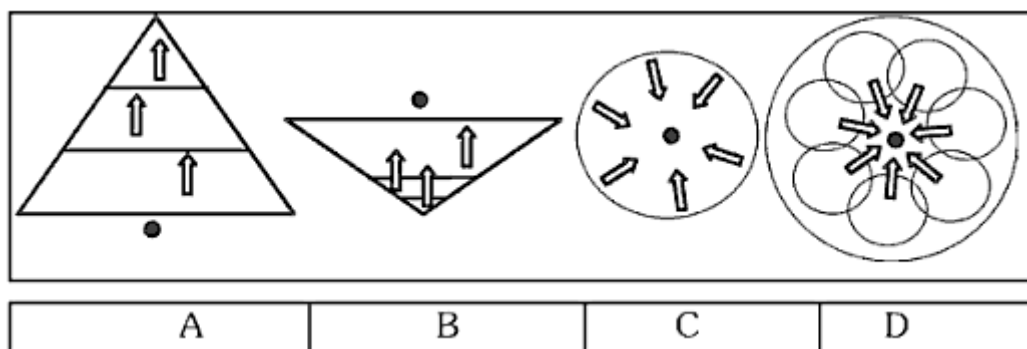


Figura 1-1: Modelos organizativos

A estrutura convencional piramidal e hierárquica (Esquema A), caracterizada por diversos níveis intermédios é a mais utilizada embora dificulte a comunicação e troca de informações entre o topo e a base da estrutura. A necessidade de inovar e melhorar a qualidade dos serviços conduziu a uma estrutura organizada tipo pirâmide invertida (Esquema B) em que as decisões são tomadas pela parte da organização (operações, vendas, etc.) que está em contacto com os clientes. Na estrutura em rede (Esquema C), mais adequada para trabalhar em ambientes de grande incerteza e mobilidade, o cliente ocupa o lugar central. A estrutura em rede deu lugar à estrutura holónica (Esquema D), que à semelhança das células biológicas, é um “todo” auto-suficiente e ao mesmo tempo uma partícula de um sistema maior. Este tipo de estrutura é mais flexível e permite uma melhor gestão dos recursos disponíveis (Batocchio & Fioroni, s.d.).

A informação requerida para o adequado desempenho profissional, tem vindo a aumentar e a sofrer mudanças muito rápidas. Actualmente, as empresas estão dependentes da informação (e do conhecimento) para se manterem actualizadas e competitivas e para poderem inovar (Dall'Acqua, 2003).

Estudando os processos que determinam a competitividade na economia global, Castells, citado por Dall'Acqua (2003), referiu a capacidade tecnológica, o acesso aos mercados, o diferencial entre os custos de produção e os preços de mercado e o contexto político, como factores determinantes da competitividade.

Para Porter, citado por Dall'Acqua (2003), a competitividade das empresas está fundamentada na inovação e na busca de diferenças estratégicas e é influenciada pelas condições de produtividade da zona onde se localiza a empresa.

Os trabalhadores e quadros das empresas são confrontados, ao longo da sua vida profissional, com a necessidade de mudar de posto de trabalho, ou de empresa, ou de alargar o seu âmbito funcional (Dall'Acqua, 2003), de actualizar os seus conhecimentos e desenvolver novas competências e de aumentar o nível de comprometimento com os objectivos da empresa.

Também surgem novos problemas relacionados com a gestão ambiental e a sustentabilidade, provocados por padrões de vida e de exploração dos recursos naturais incompatíveis com a protecção e a regeneração do meio ambiente, que requerem uma maior responsabilização dos intervenientes na manutenção dos equipamentos e instalações industriais.

Com efeito, para além da poluição associada ao funcionamento normal das fábricas, são frequentes os prejuízos ambientais e as falhas nos materiais e equipamentos, provocados por deficiente manutenção que comprometem o desenvolvimento sustentável, isto é, a obtenção simultânea de benefícios económicos, sociais e ambientais(Keinert, 2007).

Para minimizar esse tipo de problemas é indispensável a análise da criticidade de cada um dos equipamentos, a definição de adequados modelos de manutenção e o aperfeiçoamento profissional do pessoal, relativamente ao conhecimento dos equipamentos e das técnicas de manutenção, entre outros aspectos(Garrido, 2003).

Tradicionalmente as empresas de maior relevância no mercado possuíam departamentos de formação que asseguravam a formação dos seus trabalhadores, de acordo com os objectivos da empresa. Por exemplo, face a novos produtos, novos equipamentos e novos métodos de trabalho e perante a necessidade de diversificar as competências dos trabalhadores, a área de recursos humanos, era chamada a definir as estratégias de formação mais adequadas.

Qualquer que seja o contexto, as necessidades de formação podem diferenciar-se de acordo com a oportunidade (actuais ou virtuais -a determinar no futuro), profundidade (pontuais abordando aspectos específicos de uma função ou estruturais, quando abordam o conjunto de tarefas de uma profissão) e abrangência (referem-se a um pequeno grupo de trabalhadores exigindo um tratamento individualizado ou são colectivas dirigindo-se a um conjunto amplo de trabalhadores). Embora, em muitas empresas existam departamentos de formação o levantamento das necessidades e a identificação dos factores de perda de rendimento relacionados com os trabalhadores, é da responsabilidade da gestão e dos quadros das áreas funcionais(Cardim, 2009).

É portanto indispensável a realização de acções de formação (de actualização de conhecimentos, de reciclagem ou de promoção para o exercício de novos cargos) , que respondendo às necessidades empresariais e levando em conta o contexto socioprofissional dos trabalhadores (horários por turnos, local de residência, etc.), promovam a melhoria das suas competências profissionais, pessoais e sociais(Cardim, 2009).

A formação contínua é um dever de todos os trabalhadores face à necessidade de, no seu próprio interesse, contribuírem para o sucesso das empresas onde prestam os seus serviços. De facto, os conhecimentos e as competências adquiridas durante a formação inicial são

insuficientes responder às (novas) exigências provocadas pelas aceleradas transformações tecnológicas e pela globalização dos mercados. Acresce, que face ao desenvolvimento acelerado do saber, os conhecimentos individuais necessitam de ser permanentemente actualizados(Valadares Tavares, A gestão de pessoas. Novos rumos desta função nas organizações, 2010).

Entretanto, não é suficiente a qualificação técnica dos profissionais da manutenção é também necessário que conheçam e cumpram o código ético e deontológico (ou conjunto de normas de comportamento da sua profissão), de forma a estarem conscientes da sua responsabilidade relativamente à multiplicidade de consequências económicas, sociais e ambientais, provocadas por erros e omissões no exercício da sua actividade profissional(NSPE, 2011).

No campo da formação têm vindo a surgir novas propostas formativas baseadas nas Tecnologias da Informação e da Comunicação, que permitem uma maior flexibilidade no processo de ensino e aprendizagem e no acesso à formação e qualificação. Este novo tipo de oferta, e-Learning, está a generalizar-se, nas sociedades mais desenvolvidas, e já representa uma parte significativa da oferta global de educação e formação profissional. De acordo com alguns estudos(IDC, 2003), a oferta de formação profissional empresarial na Europa, em 2005, na modalidade e-Learning, seria de (aproximadamente) 27% do total, com um elevado crescimento (previsível), para os próximos anos(Santos & Ramos, 2002).

Tendo a actividade de manutenção industrial uma crescente influência nos resultados empresariais e sendo uma actividade dispendiosa, existe uma crescente pressão para a redução dos seus custos e para o aumento da eficiência. É neste contexto que aparecem os novos modelos de manutenção com o duplo objectivo de aumentar a disponibilidade das instalações industriais e reduzir os custos de manutenção.

O recente desenvolvimento de novos modelos de manutenção está associada à passagem de um sistema produtivo orientado para a produção máxima, para uma nova situação, caracterizada pela procura da produção (estritamente) necessária que tenha a indispensável qualidade, obtida com o mínimo de recursos, isto é, com o máximo de eficiência(Cuatrecasas & Torrell, 2010).

Com origem no Japão, o conceito Lean, é aplicado, pelas empresas mais avançadas, a nível mundial, na produção e/ou na gestão, para aumentar a produtividade e os resultados globais. As empresas orientadas pelo pensamento Lean têm por objectivo a redução sistemática do desperdício e a criação de valor(Pinto J. P., 2009).

Entretanto a utilização, bem sucedida, dos métodos, técnicas e ferramentas associados ao Lean, requer a concretização de efectivas mudanças culturais nos trabalhadores e quadros da empresa(Cuatrecasas & Torrell, 2010).

A manutenção produtiva total (Total Productive Maintenance – TPM) é uma filosofia de manutenção, com origem no Japão, em 1970, que incorpora os conceitos de manutenção preventiva e de manutenção condicionada, entre outros conceitos inovadores, como por exemplo, o de Manutenção Autónoma. O interesse pelo TPM tem vindo a aumentar devido às melhorias na rentabilidade, eficiência de gestão e qualidade (Cuatrecasas & Torrell, 2010).

As formas de manutenção têm evoluído de acordo com os processos produtivos e as tecnologias disponíveis. Após uma fase inicial em que só existe manutenção correctiva, verifica-se a necessidade de minimizar as elevadas perdas provocadas por avarias nos equipamentos. É assim implementada a manutenção preventiva, em 1951, nas modalidades de manutenção planeada (diferida) e manutenção condicionada. Outras formas de manutenção ocorrem com o estudo das avarias e as intervenções de melhoria nos equipamentos para melhorar a sua fiabilidade, facilitar as tarefas de manutenção e com a definição de alterações nos projectos de novos equipamentos, após análise e estudo do respectivo histórico de avarias (Shankar, 2008).

Actualmente a Manutenção Produtiva Total, no âmbito do pensamento Lean e integrada em sistemas de produção flexível, Just in Time (JIT) e em articulação com programas de qualidade total (Total Quality Management - TQM), permitem a elevação da competitividade da empresa através da eliminação (ou redução), dos desperdícios, defeitos, avarias e acidentes (Cuatrecasas & Torrell, 2010).

São conhecidos os resultados da implementação do TPM em diversas empresas multinacionais (Ford, Kodak, Texas Instruments, etc.). Todas referem a obtenção de bons resultados na produtividade e nos benefícios económicos, devido ao aumento da produção, ao cumprimento dos prazos de entrega e à redução dos inventários, entre outros aspectos positivos (Roberts, 1997).

Também as metodologias e técnicas da manutenção baseada na fiabilidade têm adquirido uma importância crescente devido aos ganhos de eficiência que permitem alcançar, designadamente, quando aplicadas a instalações industriais e sistemas reparáveis de elevada complexidade tecnológica.

Entretanto, os novos modelos de manutenção assentam na participação empenhada dos trabalhadores e no trabalho de equipa. A optimização das intervenções dos trabalhadores requer a sua prévia formação e qualificação profissional.

1.1 Formulação da situação – problema

A problemática deste estudo integra temas da formação profissional e da área da manutenção industrial.

A realização de uma investigação envolve a apresentação prévia de um problema, ou seja, de um enunciado que no âmbito da problemática do estudo e obedecendo a determinadas características (clareza, relevância, etc.) afirma uma determinada relação entre as variáveis que justifica a (necessidade da) investigação (Carvalho J. E., 2009).

Neste caso, o problema proposto, consiste na procura de ferramentas e metodologias que possam alicerçar a formação contínua dos profissionais de manutenção das empresas industriais ao serviço dos interesses da empresa e do meio ambiente e em articulação com as restantes partes interessadas, nomeadamente, os accionistas, os consumidores e os trabalhadores.

1.1.1 Questões de investigação

Para contribuir para a resolução do problema apresentado, o estudo foi orientado pelas seguintes questões:

Existem referenciais teóricos orientadores da formação neste domínio de actividade?

Como integrar uma proposta formativa na modalidade b-learning, na gestão da manutenção?

É possível articular a formação que é ministrada nas empresas com a necessidade, dos trabalhadores, obterem a certificação dos seus estudos?

Como elaborar recursos didácticos para cursos online da área da manutenção?

Como estruturar uma proposta de formação b-learning e dirigido a operadores de produção e técnicos de manutenção, no âmbito de um processo de modernização da Manutenção?

Quais poderão ser os indicadores de qualidade de um processo formativo e-Learning, no âmbito da manutenção industrial? Como avaliar um curso e-Learning?

1.2 Metodologia da Investigação

1.2.1 Paradigmas

Quando inicia uma investigação o investigador tem subjacente um paradigma, isto é, uma determinada visão do mundo que engloba crenças sobre a forma de investigar e de construir o conhecimento.

Actualmente, podemos distinguir, em qualquer investigação, quatro paradigmas principais: pós-positivista, interpretativo, crítico e pragmático (Creswell, 2007).

O paradigma pós-positivista surge na continuidade do paradigma positivista, que teve origem nas ciências naturais e exactas. Para o paradigma positivista apenas é considerado científico o conhecimento obtido de forma experimental e baseado em dados empíricos. O pós-positivismo, diferencia-se do positivismo porque considera que o conhecimento sobre a realidade é sempre provisório ou probabilístico e considera que não se pode separar o observador do objecto do conhecimento. Neste paradigma o investigador procura investigar a validade das suas hipóteses sobre a realidade. A validade da investigação está alicerçada numa metodologia quantitativa, cujo instrumento fundamental é a análise estatística. O objectivo consiste em poder explicar a realidade para poder efectuar previsões.

No paradigma construtivista ou interpretativo, que teve origem na área das ciências sociais e da educação, o investigador procura compreender a realidade num determinado contexto social e económico. De acordo com o construtivismo para além da medição das variáveis também se deve considerar os significados subjectivos e o contexto onde decorre a investigação. Neste paradigma a investigação é alicerçada sobretudo em metodologias qualitativas.

No paradigma crítico o investigador reconhece a influência do contexto social e cultural nas diversas dimensões da realidade. Orienta-se por problemas de investigação ligados à realidade social e económica. Estabelece uma relação de interdependência com os participantes da investigação e pretende contribuir para a transformação social.

Finalmente, no paradigma pragmático, o mais recente, o investigador utiliza metodologias mistas de acordo com a natureza do problema a investigar. Considera que o fundamental é resolver o problema com que está confrontado. São válidas as técnicas quantitativas, qualitativas e mistas.

Neste trabalho, de acordo com o último dos paradigmas, utilizaram-se as técnicas e metodologias mais adequadas à resolução das diversas questões de investigação.

1.2.2 Tipo de investigação

De acordo com Janete Bertuci (2008), citando Gil (1985), existem diversas formas de classificar os trabalhos de investigação. Quanto ao tipo podemos ter pesquisas exploratórias, pesquisas descritivas e pesquisas explicativas. A exploratória procura esclarecer os conceitos e ideias para melhorar a formulação dos problemas e das hipóteses de investigação de estudos

posteriores. A descritiva tem por objectivo descrever as características da população ou esclarecer as relações existentes entre as variáveis. Finalmente a pesquisa explicativa, a mais complexa, tem por objectivo isolar e explicar os factores que estão na origem de determinados fenómenos.

Quanto à técnica utilizada podemos ter pesquisas documentais, de estudo de caso, e de levantamento. A pesquisa documental é baseada na consulta de livros, artigos científicos, dissertações e outros documentos, sobre um determinado tema ou assunto. No estudo de caso existe um estudo aprofundado de um número reduzido de objectos não permitindo a generalização das conclusões obtidas. No levantamento não se pretende o aprofundamento mas antes descrever os aspectos gerais de um dado fenómeno ou situação(Bertuci, 2008).

1.2.3 Metodologia

Para a realização deste trabalho, uma pesquisa descritiva analítica, efectuou-se uma pesquisa documental nos domínios abordados. Em seguida, com base no referencial teórico que foi construído, elaborou-se uma contribuição para a resolução do problema orientador da investigação.

Este trabalho pretende com base, na revisão da literatura e no estudo das experiências em curso neste domínio, contribuir para a melhoria dos processos e metodologias de formação profissional, na área da manutenção industrial, na modalidade de ensino à distância, com componente presencial (b-learning) ou exclusivamente online (e-learning).

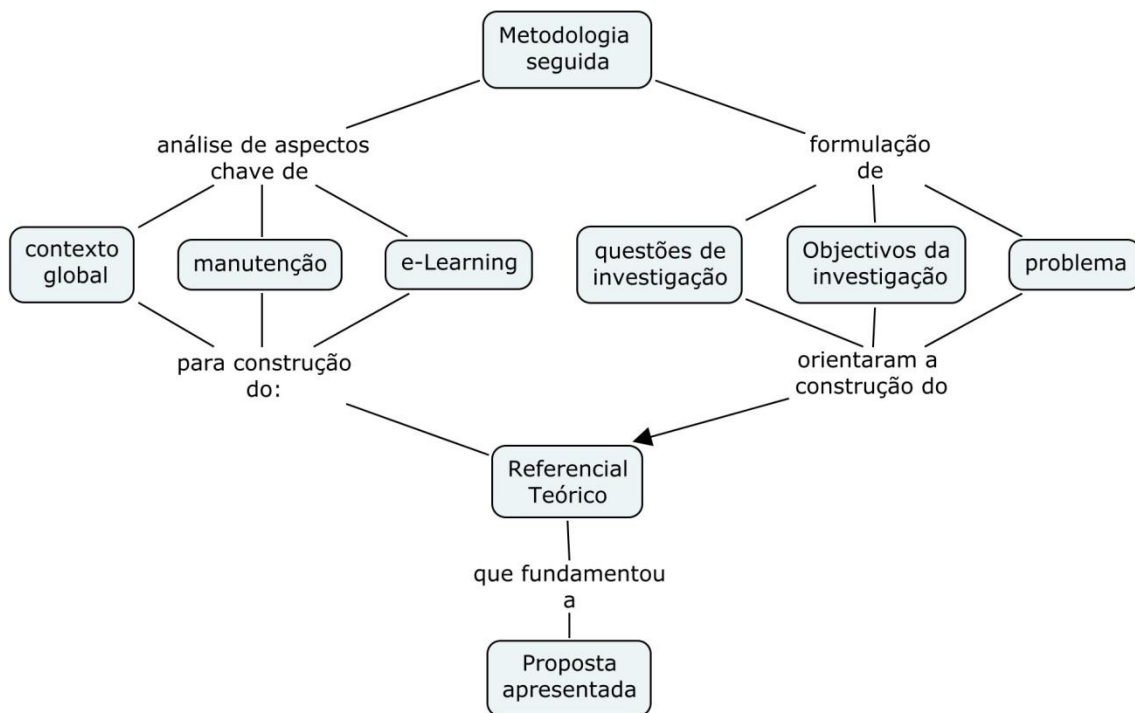


Figura 1-2:Metodologia

1.3 Organização do estudo

No capítulo introdutório são apresentados os objectivos gerais da dissertação. Também se descreve a metodologia utilizada.

O segundo capítulo é dedicado a fazer uma revisão dos conceitos fundamentais da qualidade, manutenção e e-Learning.

No terceiro capítulo é apresentada a proposta de formação articulada com o ensino oficial, incluindo o guião do curso, lições baseadas na revisão da literatura e procedimentos para a avaliação do curso. Também se apresenta uma proposta de indicadores de qualidade do curso e de manutenção.

No último capítulo são apresentadas as conclusões decorrentes da elaboração deste trabalho e são discutidas algumas sugestões para futuros trabalhos.

2 Revisão da Literatura

2.1 Qualidade

São desenvolvidos alguns conceitos gerais relacionados com a qualidade e com a relação entre a qualidade e a manutenção.

Conceitos-chave: Qualidade, Qualidade Total, Ferramentas da qualidade.

O desenvolvimento tecnológico e a globalização têm incrementado a competição entre as empresas levando a que apenas sobrevivam as que ofereçam produtos inovadores e com melhor relação qualidade/preço. Essas empresas são geralmente, as que mais investem na qualidade e na formação dos seus funcionários.

De facto, a competitividade é o resultado da inovação, da tecnologia, da qualidade e da produtividade e requer a adequada harmonização e articulação das pessoas e do conjunto de princípios, recursos e regras (sistema da qualidade), que descreve e orienta o funcionamento da empresa(Pires, 2007).

Entretanto, não é suficiente um elevado nível de qualidade nos produtos para garantir a sobrevivência e a supremacia nos mercados. É também necessário que a empresa desenvolva, entre outros aspectos, a eficiência e as competências de aprendizagem e de inovação(Sarkar, 2010).

As mudanças tecnológicas, a competição entre empresas e o choque de mentalidades pressionam as empresas para implementarem sistemas de qualidade. Também os elevados custos associados à falta de qualidade e a necessidade de respeitar os diversos regulamentos nomeadamente no que se refere à protecção do meio ambiente e da saúde pública impõem a existência de um sistema de qualidade(Pires, 2007).

A busca e o controlo de qualidade é identificada em todos os períodos históricos embora com maior visibilidade a partir da revolução industrial. Por exemplo, na construção das grandes pirâmides do Egipto foram utilizados métodos sofisticados de controlo de qualidade. Também os artesãos da Idade Média procuravam garantir a qualidade dos seus produtos, através de um período extenso de formação e de um sistema restritivo de acesso à profissão(Evans & Lindsay, 2005).

Na evolução histórica da qualidade é possível identificar uma fase caracterizada pelo controlo de qualidade efectuado pelos inspectores, a que se segue uma outra, no intervalo entre as duas grandes guerras, em que predominava a utilização da estatística. Nos anos 60 as exigências associadas aos grandes investimentos industriais institucionalizou uma nova fase da qualidade,

caracterizada pela garantia e gestão da qualidade. Na década de 90, surge uma fase dominada pela qualidade total, baseada na eliminação dos defeitos (zero defeitos), na identificação dos custos da qualidade e numa cultura de empresa orientada para os clientes(Pires, 2007).

Actualmente aceita-se a existência de quatro estágios da qualidade de acordo com o grau de implementação das ferramentas e metodologias da qualidade. Uma empresa no último estágio é considerada de classe mundial, enquanto as do primeiro estágio, onde estão cerca de 60% das empresas, estão numa fase inicial de percepção da importância da qualidade (Bhote, 1992).

A busca da qualidade, de forma sistemática, está associada aos trabalhos de W. Edward Deming e ao grande desenvolvimento, que a aplicação das suas ideias provocou na indústria Japonesa. Desde então, têm surgido outras contribuições importantes associadas aos trabalhos de diversos autores, designadamente, Juran, Crosby, Feigenbaum, Ishikawa, e Tagushi, entre outros(Pires, 2007).

O conceito de Qualidade Total surge com a integração dos princípios da qualidade nos sistemas de gestão de empresas industriais e teve um grande sucesso no Japão. Este modelo de qualidade e de gestão está associado a dois princípios orientadores fundamentais: fazer as coisas bem à primeira vez e privilegiar as necessidades dos clientes(Evans & Lindsay, 2005).

É crescente o número de empresas que aplicam a gestão pela qualidade total (Total Quality Management–TQM) para a melhoria da qualidade e da competitividade dos seus produtos. O TQM consiste numa estratégia de qualidade baseada na mobilização de todo o pessoal da empresa para satisfazer os clientes internos e externos com produtos de qualidade a preços e prazos competitivos e apoia-se no trabalho em equipa e num conjunto diversificado de instrumentos de resolução de problemas.

A Qualidade Total responsabiliza todas as estruturas da empresa pela busca da qualidade e envolve a aplicação de técnicas de administração e de um conjunto diversificado de ferramentas, designadamente, o diagrama de causa-efeito, os histogramas, os gráficos de controlo, os gráficos de Pareto, as folhas de verificação e os diagramas de dispersão (Armendáriz Sanz, 2010).

No âmbito da actividade industrial é comum a exigência, para a contratação de bens e serviços, do cumprimento de normas, designadamente das normas da família ISO 9000, de forma a garantir a qualidade. Para alguns sectores industriais foram criadas normas específicas de acordo com as características do seu processo de fabrico. No caso das empresas do sector automobilístico, essa exigência acrescida traduziu-se na criação de um novo conjunto de normas de qualidade, as QS-9000. Tal como o nome sugere, têm semelhanças com as normas ISO 9000, embora com aspectos diferenciadores, designadamente a incorporação do conceito de melhoria contínua(Heckert, Francischini, & Rotondaro, 1998). Recentemente os grandes

construtores automóveis estabeleceram uma nova especificação técnica, a ISO/TS 16949, baseada na ISO 9001:2000(Pires, 2007).

Entre as diversas tendências de gestão da qualidade, destaca-se uma perspectiva abrangente da qualidade baseada no ciclo de Shewhart-Deming e com origem na empresa Motorola, conhecida por Seis Sigma(Henderson, 2006). Para obter resultados e melhorar a eficácia e a eficiência o Seis Sigma apoia-se na participação activa e empenhada da gestão da empresa(Eckes, 2004).

Entretanto, é a inovação e a criação permanente de produtos inovadores, tenham ou não base tecnológica, o factor mais influente no aumento de produtividade e no crescimento económico das sociedades mais avançadas(Sarkar, 2010).

De acordo com Drucker inovar é um dos objectivos mais importantes de qualquer empresa e face ao avolumar de novos conhecimentos e às dificuldades associadas às crises energéticas e à redução dos recursos energéticas, deverá ocorrer, num futuro próximo, um período de grandes inovações. Sabendo que inovar consiste em levar à prática uma determinada ideia, é necessário que exista uma base de conhecimentos disponível e uma mão-de-obra qualificada para a utilizar (Drucker, 2010).

Portanto, para as empresas conseguirem vantagens competitivas os trabalhadores devem estar comprometidos com os objectivos e os planos empresariais. Também é necessário que a organização ensine e proporcione aos trabalhadores as formas de gerarem novas informações e conhecimentos.

A robotização e a automatização das fábricas facilitaram a produção de acordo com os desejos e necessidades dos clientes e reforçaram a importância da função manutenção. De facto, a qualidade da produção, o cumprimento dos prazos e das metas de produtividade dependem, de forma crescente, do desenvolvimento e aplicação de competências no domínio das técnicas e métodos de manutenção.

As ferramentas utilizadas na manutenção para melhorar a disponibilidade dos equipamentos e instalações produtivas são, em diversos aspectos, semelhantes às utilizadas na gestão da qualidade total. Também na manutenção se valoriza o trabalho de equipa e se recorre aos instrumentos de resolução de problemas referidos na tabela 2.1.

Tabela 2-1: Instrumentos de melhoria da qualidade (aplicados à manutenção)

Designação	Observações
Folhas de registo	Recolha de dados
Diagramas de concentração de defeitos	Evidenciar os pontos fracos
Diagramas em espinha de peixe	Identificar a origem do problema
Diagramas de Pareto	Hierarquizar os factos
Diagramas de correlação	Evidenciar correlações
Histogramas	Ilustrar as variações
Cartas de controlo	Controlar o processo

A Manutenção Produtiva Total é um modelo de manutenção baseado em princípios da Qualidade Total (TQM), que visa a detecção e reparação das anomalias nos equipamentos numa fase prematura e antes que ocorram alterações na qualidade dos produtos. Com o TPM são asseguradas e melhoradas as funções básicas da exploração e manutenção, garantindo-se a realização das tarefas básicas de manutenção (inspecção, limpeza, lubrificação, reapertos e ajustes) o respeito pelas condições de exploração, a reparação das anomalias logo que detectadas e a correcção e melhoria das deficiências de concepção dos equipamentos (Souris, 1992).

Para assegurar uma produção isenta de defeitos e identificar e corrigir as causas que conduzem a perdas de produção a Manutenção utiliza (ou pode utilizar) a análise PM, desenvolvida por Kuno Shirose. Na sigla PM, a letra P é a inicial das palavras inglesas Physical (física) do Phenomenon (fenómeno) e a letra M provém das palavras Mechanism (mecanismo), Machine (máquina), Man (pessoal), Material (material) e Method (método). Este método de análise inclui diversas etapas, designadamente, o estudo do fenómeno com a identificação de todas as anomalias; investigação das causas das anomalias, relacionando-as com as condições de funcionamento, materiais utilizados, etc. ; proceder à correcção simultânea de todas as anomalias com reposição das condições óptimas de funcionamento; Repetir os procedimentos anteriores se os resultados continuarem insatisfatórios (Souris, 1992, pp. 159-160).

Outras metodologias, no âmbito da garantia de qualidade e da fiabilidade de equipamentos, são geralmente utilizadas na manutenção, nomeadamente, a análise FMEA (Failure Modes and Effects Analysis), a análise FMECA (Failure Modes and Effects and Criticality Analysis) e a análise RAMS (Reliability, Availability, Maintainability, Security), que pela sua complexidade requerem uma abordagem específica que ultrapassa os objectivos deste trabalho (Farinha, 2011, p. 23).

Também os princípios básicos do TQM se aplicam à manutenção, conforme se referem na tabela 2.2.

Tabela 2-2: Princípios da qualidade total aplicados à manutenção

Designação	Observações
Persistência nos objectivos	É indispensável a existência de um plano de acção a curto prazo (1 ano) e o estabelecimento de metas a médio prazo (3 anos).
Disseminação de informações	Existência de canais formais e informais para a circulação da informação.
Gestão participativa	É necessário desenvolver a criatividade e estimular o trabalho em equipa e a participação de todos os trabalhadores.
Satisfação total do cliente	É indispensável que a manutenção conheça bem as necessidades da produção e corresponda ao que lhe é pedido, superando as expectativas, se possível.
Desenvolvimento social e profissional	Sendo as pessoas a essência de qualquer organização, deve ser favorecido o desenvolvimento pessoal e profissional de todos os colaboradores e designadamente do pessoal da manutenção.
Delegação	Para a competitividade e boa prestação da manutenção é necessário que o poder de decisão esteja próximo de onde ocorre a acção.
Garantia da qualidade – Procedimentos escritos	Os procedimentos e rotinas de manutenção devem ser descritos por escrito.
Gestão de processos	Utilizar Ciclo PDCA, sempre que possível, na gestão da actividade de manutenção.
Melhoria contínua	Estabelecer Indicadores de manutenção para se saber onde se está e onde se quer chegar. Por exemplo: Disponibilidade de equipamentos, Razão entre os custos totais de manutenção e a facturação da empresa, Tempo médio entre falhas, Razão entre a manutenção preventiva e o total de manutenção, Assiduidade, Horas extras, Taxa de acidentes e razão entre as horas de formação e as horas trabalhadas.
Investigação das avarias (erros)	Tentar fazer bem logo à primeira vez. Identificar as causas das avarias para as eliminar.

Para além da contribuição da manutenção para a redução das perdas e para a melhoria da qualidade da produção é também indispensável fazer a avaliação do departamento de manutenção e da qualidade dos serviços prestados. A avaliação através dos custos não se deve limitar à contabilização dos custos directos da manutenção deve também considerar os custos indirectos, ou seja, os custos associados às paragens de produção(Pinto C. V., 2002, p. 163).

Outra forma, mais rigorosa, de avaliar a manutenção passa por contabilizar o número e o tempo perdido por avarias, nos equipamentos produtivos. Uma maior qualidade do serviço prestado corresponderá a um menor número de horas de avarias e portanto a uma maior disponibilidade

operacional. Este indicador é função do tempo médio entre intervenções de manutenção (MTBM) e do tempo médio de paragem para intervenções de manutenção e pode servir para aferir a qualidade dos serviços prestados pela manutenção(Pinto C. V., 2002, p. 164).

A melhoria da disponibilidade operacional e da qualidade dos serviços de manutenção pode ser conseguida através de diversos factores, designadamente, a utilização de equipamentos com uma elevada fiabilidade, exigência e rigor nas intervenções o que requer pessoal com elevada preparação profissional e qualificação técnica, implementação de planos de manutenção preventiva (PMP) que privilegiem a manutenção condicionada, escolha de equipamentos com elevada manutibilidade, nível adequado de peças de reserva, normalização dos equipamentos, adequada preparação, planeamento e organização dos trabalhos, existência de recursos humanos e materiais adequados e elevada motivação do pessoal(Pinto C. V., 2002, p. 166).

O cumprimento dos requisitos associados à melhoria da disponibilidade operacional requer a definição de adequados princípios orientadores da actividade de manutenção, no que se refere aos equipamentos, que favoreça a normalização e o reforço da fiabilidade e da manutibilidade, organização dos serviços e actividades em permanente actualização e aperfeiçoamento assente em normas e procedimentos escritos institucionalizados e a uma política de recursos humanos que privilegie a formação e a motivação do pessoal.(Pinto C. V., 2002, p. 167)

Entretanto, o aumento da qualidade e da disponibilidade operacional dos equipamentos estão associadas a custos crescentes de manutenção, sendo necessário encontrar o valor da disponibilidade onde se atinge o máximo benefício(Pinto C. V., 2002, p. 168).

2.2 Fiabilidade

São desenvolvidos os conceitos fundamentais da fiabilidade e é feita uma revisão de conteúdos matemáticos indispensáveis ao desenvolvimento dos modelos da fiabilidade

Palavras-chave: Probabilidades, Técnicas de Contagem, Função de risco, Função de fiabilidade, Função acumulada de probabilidade de falha, Função densidade de probabilidade, MTTF, MTBF, MTTR, MTPM, Funções de distribuição, Manutibilidade, Disponibilidade, Sistemas Reparáveis, Teste de Laplace, Processo de Poisson Homogéneo, Fiabilidade de sistemas.

2.2.1 Introdução à análise estatística das falhas

O conceito de fiabilidade, inicialmente utilizado na resolução de problemas de segurança dos aviões, tem vindo a ser aplicado, nos últimos 50 anos, nos mais diversos sectores da actividade industrial. No entanto, o maior desenvolvimento da fiabilidade está associado à resolução de

problemas de segurança, durante a concepção e exploração de mísseis balísticos, naves espaciais e centrais nucleares.

Através do estudo da fiabilidade é obtida informação necessária à tomada de decisão sobre diferentes aspectos relacionados com o equipamento, designadamente, intervenções de manutenção preventiva, substituição do equipamento, entre outras. Entretanto, antes de iniciar o estudo é necessário, clarificar o tipo de problema, objectivos, condições de funcionamento e limitações do estudo.

As empresas necessitam de ter os seus equipamentos a trabalhar e em boas condições de funcionamento para garantirem a qualidade, o cumprimento de prazos e a indispensável competitividade e rentabilidade. No entanto, os equipamentos podem falhar devido a deficiente condução e por falta de manutenção, e mesmo com a manutenção correcta e explorando correctamente os equipamentos, as falhas poderão acontecer devido a defeitos provocados por diversas causas (deficiências de projecto, erros de fabricação, defeitos, etc.).

O estudo da fiabilidade possibilita a obtenção de valores numéricos que vão permitir a avaliação do desempenho futuro do sistema (componente ou equipamento) e a sua comparação rigorosa com outras soluções alternativas.

No estudo da fiabilidade é habitual considerar três tipos de falhas (infantis, acidentais e por envelhecimento ou desgaste) que ocorrem nos componentes e sistemas reparáveis, mesmo que estes sejam objecto de todos os cuidados de armazenamento, manutenção e exploração. As falhas infantis, estão associadas a problemas de fabrico e de deficiente controlo de qualidade. As falhas acidentais são provocadas por fenómenos aleatórios e não são possíveis de eliminar qualquer que seja o tipo de manutenção utilizado. Finalmente as falhas provocadas por desgaste, degradação ou envelhecimento podem ser reduzidos (ou mesmo eliminadas) através da manutenção adequada.

As técnicas da fiabilidade permitem actuar sobre os três tipos de falhas (ou avarias). Sobre as falhas infantis observando a sua distribuição e definindo, por exemplo, o tempo e o tipo de ensaios. Relativamente às falhas por desgaste o estudo da sua distribuição estatística permite definir a melhor periodicidade para a realização das intervenções de manutenção. No que se refere às falhas acidentais a aplicação das técnicas da fiabilidade possibilita a redução da probabilidade da sua ocorrência.

Por fiabilidade entende-se a “probabilidade de um elemento (componente, subsistema ou sistema reparável), desempenhar uma função especificada, segundo dadas condições ambientais e operacionais, durante um período de tempo estabelecido”.

Esta definição diz-nos que a fiabilidade é a probabilidade do elemento funcionar, sem falhas, durante um determinado período de tempo. No entanto, essa probabilidade não é conhecida com antecedência, sendo necessários dados do fabricante ou do registo histórico de manutenção para poder efectuar a sua estimativa. O cálculo da fiabilidade também requer a definição rigorosa do que se entende por funcionamento correcto do elemento. Nessas condições, chamamos falha à cessação do funcionamento correcto do elemento.

De acordo com a NP EN 13306:2007 a fiabilidade é definida como sendo a aptidão de um bem para cumprir uma função requerida sob determinadas condições, durante um determinado intervalo de tempo.

A observação e o registo do número de falhas que ocorrem num elemento durante um determinado período permite-nos determinar a taxa de falhas λ , que representa o número de falhas por um dado período de utilização.

Devido às características aleatórias das causas que provocam as falhas nos equipamentos, a determinação da fiabilidade envolve a utilização extensa e aprofundada da estatística e do cálculo de probabilidades.

2.2.1.1 Probabilidades

São desenvolvidos alguns conceitos gerais relacionados com a qualidade e com a relação entre a qualidade e a manutenção.

Conceitos-chave: Probabilidade, Técnicas de contagem.

Para efectuar a medição da probabilidade, nas situações em que os vários resultados elementares possíveis são equiprováveis, é geralmente utilizada a definição clássica de Laplace, cujo enunciado estabelece que a probabilidade de um acontecimento associado a uma experiência aleatória é dada pelo quociente do número de casos favoráveis (n) e o número total de casos possíveis (N)

$$P(A) = \frac{n}{N} = \frac{\text{número de resultados favoráveis}}{\text{número de resultados possíveis}}. \quad (2.1)$$

A probabilidade permite medir a verosimilhança de um evento, acontecimento ou resultado individual de uma experiência estatística e fundamenta-se num conjunto de axiomas (Pedrosa & Gama, 2004):

“Seja S um espaço amostral. Sejam A e A_i , com $i = 1, 2, \dots$, eventos quaisquer de S . Chama-se probabilidade de A , e denota-se por $P(A)$, o número real

associado a A que mede a verosimilhança com que A ocorre e que satisfaz os seguintes axiomas:

- (1) $0 \leq P(A) \leq 1$, (a probabilidade é um número real entre 0 e 1).
- (2) $P(S) = 1$, (a probabilidade do evento certo é 1).
- (3) Se A_1, A_2, \dots , forem eventos mutuamente exclusivos, isto é, $A_i \cap A_j = \emptyset, i \neq j$, então: $P(A_1 \cup A_2 \cup \dots) = P(A_1) + P(A_2) + \dots$ ”

(2.2)

Desta definição decorrem vários teoremas de grande interesse para o estudo da probabilidade, nomeadamente, os seguintes (Figueiredo, Figueiredo, Ramos, & Teles, 2009):

1. Sejam A e B dois eventos quaisquer de um espaço amostral S . Então,

$$P(B|A) = P(B \cap \bar{A}) = P(B) - P(A \cap B). \quad (2.3)$$
2. Sejam A e B dois eventos quaisquer de um espaço amostral S . Então,

$$P(B \cup A) = P(B) + P(A) - P(A \cap B). \quad (2.4)$$
3. Seja A um evento qualquer de um espaço amostral S . Então,

$$P(\bar{A}) = 1 - P(A). \quad (2.5)$$
4. Sejam A , B e C três eventos quaisquer de um espaço amostral S . Então,

$$P(A \cup B \cup C) = P(A) + P(B) + P(C) - P(A \cap B) - P(A \cap C) - P(B \cap C) + P(A \cap B \cap C). \quad (2.6)$$
5. Sejam n eventos $A_1, A_2, A_3, \dots, A_n$ quaisquer de um espaço amostral S . Então,

$$P(A_1 \cup \dots \cup A_n) = \sum_{i=1}^n P(A_i) - \sum_{i < j=1}^n P(A_i \cap A_j) + \dots + (-1)^{n+1} P(A_1 \cap \dots \cap A_n). \quad (2.8)$$
6. Sejam A e B dois eventos, a probabilidade condicionada de A dado B designa-se por $P(A|B)$ e é dada por: $P(A|B) = \frac{P(A \cap B)}{P(B)}$, com $P(B) > 0$.

$$(2.9)$$
7. Sejam A e B dois eventos, tem-se:

$$(A \cap B) = P(A)P(B|A) = P(B)P(A|B) \text{ com } P(A), e P(B) > 0 \quad (2.10)$$
8. Dados n eventos $A_1, A_2, A_3, \dots, A_n$, tem-se:

$$P(A_1 \cap A_2 \cap \dots \cap A_n) = P(A_1)P(A_2|A_1) \dots P(A_n|A_1 \cap A_2 \cap \dots \cap A_{n-1}) \quad (2.11)$$
9. Dois eventos A e B [$P(A), e P(B) > 0$] dizem-se independentes quando se verificam as condições:

$$P(A|B) = P(A) \text{ e } P(B|A) = P(B) \text{ com } P(A), e P(B) > 0 \quad (2.12)$$

2.2.1.2 Técnicas de contagem

Para experiências aleatórias de maior complexidade, são utilizados métodos de contagem do número de casos prováveis e do número de casos possíveis, que requerem a utilização de instrumentos da análise combinatória.

A utilização da disposição rectangular (ou tabular) de pares ordenados associadas a uma dada experiência aleatória, por exemplo, a representação numa tabela de dupla entrada do espaço amostral resultante do lançamento de dois dados, é baseada no seguinte teorema (Pestana & Velosa, 2002):

Seja $X = \{x_1, \dots, x_m\}$ um conjunto com m elementos, e seja $Y = \{y_1, \dots, y_n\}$ um conjunto com n elementos. Então o conjunto de pares em que o primeiro elemento provém de X e o segundo elemento provém de Y , designado por produto cartesiano de X por Y , $X \times Y = \{(x_j, y_k): j = 1, \dots, m; k = 1, \dots, n\}$, tem $m \times n$ elementos.

(2.13)

Outras formas de contagem de subconjuntos, com sem reposição e considerando a ordem dos elementos, decorrem do seguinte teorema:

Sejam X_1, \dots, X_k conjuntos tais que $\#X_1 = n_1, \dots, \#X_k = n_k$. Então

$$\#(X_1 \times \dots \times X_k) = n_1 \times \dots \times n_k. \quad (2.14)$$

Consideramos neste texto, algumas fórmulas e indicações da análise combinatória, relacionadas com a formação de permutações, arranjos e combinações (Oliveira, 1990):

- 1) Dados n elementos diferentes de um conjunto, o número de permutações sem repetição ou de sequências diferentes que é possível formar com todos os elementos do conjunto, é dado pela expressão $n! = n(n-1)(n-2) \dots \times 2 \times 1$. No caso de existirem α elementos iguais, β iguais entre si, γ idênticos, etc. o número de permutações com repetição é dado pela expressão: $\frac{n!}{\alpha! \beta! \gamma! \dots}$. (2.15)
- 2) Se considerarmos um conjunto com n elementos chamamos arranjo sem repetição dos n elementos k a k ($n \geq k$) a qualquer grupo formado por k elementos distintos do conjunto. O número total desses grupos é: $A_k^n = n(n-1) \dots (n-k+1) = \frac{n!}{(n-k)!}$. No caso de os grupos poderem ser constituídos por elementos repetidos o número de arranjos com repetição é dado por: n^k (2.16)

- 3) As combinações sem repetição indicam quantas variedades de subconjuntos com k elementos distintos existem num conjunto com n elementos (distinguem-se dos arranjos porque nos seus elementos não interessa a ordem). O seu número é dado por: $C_k^n = \frac{n(n-1)\dots(n-k+1)}{k(k-1)\dots 2 \times 1} = \frac{n!}{k!(n-k)!}$. No caso das combinações com repetição de n elementos k a k o seu número é igual ao número de combinações sem repetição de $n + k - 1$ elementos k a k .
- (2.17)

2.2.1.3 Função de risco

Uma função muito importante nos estudos de fiabilidade é a função de risco:

$$h(x) = \lim_{\Delta x \rightarrow 0} \frac{P[x < X \leq x + \Delta x | X > x]}{\Delta x} \quad (2.18)$$

definida como a probabilidade condicionada, por unidade de tempo, de um sistema falhar dado que a falha não é verificada até x .

Para a sua dedução partimos da função de fiabilidade $R(t)$ e do seu complementar, designado por função acumulada de probabilidade de falha que se representa por $F(t)$. $R(t) = 1 - F(t)$. A partir destas duas funções e por derivação podemos obter a função de densidade de probabilidade, que se representa por $f(t)$:

$$f(t) = \frac{dF(t)}{dt} = -\frac{dR(t)}{dt} \quad (2.19)$$

Relacionando $f(t)$ com $R(t)$, vamos obter a função de risco, $h(t)$:

$$h(t) = \frac{f(t)}{R(t)} \quad (2.20)$$

Esta função dá-nos a probabilidade de um equipamento, em boas condições de funcionamento, no instante t , avarie no intervalo $]t, t + \Delta t[$.

Devido ao seu grande interesse prático descreve-se a função de risco para fenómenos com distribuição exponencial. Conhecidas as respectivas funções de distribuição de probabilidade de falha $F(t) = 1 - R(t) = 1 - e^{-\lambda t}$ e de densidade de probabilidade $f(t) = F'(t) = \lambda e^{-\lambda t}$, da distribuição exponencial, determina-se $h(t) = \frac{f(t)}{R(t)} = \frac{f(t)}{1 - F(t)} = \frac{\lambda e^{-\lambda t}}{1 - 1 + e^{-\lambda t}} = \lambda$ (2.21)

2.2.1.4 Relações matemáticas entre as funções da fiabilidade

Na teoria da fiabilidade existem quatro funções importantes: a função de fiabilidade ou de sobrevivência, $R(t)$, a função acumulada de probabilidade de falha, $F(t)$, a função densidade de probabilidade, $f(t)$ e a função de risco $h(t)$. Partindo de uma qualquer das funções podemos obter as restantes por deduções matemáticas (Turner, 1999):

Dada a função densidade de probabilidade, $f(t)$, a sua integração entre 0 e t , permite-nos obter a função acumulada de probabilidade de falha.

$$F(t) = \int_0^t f(t)dt \quad (2.22)$$

E depois, as restantes funções

$$R(t) = 1 - F(t) = P(T \geq t) = \int_t^{\infty} f(t)dt \quad (2.23)$$

$$h(t) = \frac{f(t)}{R(t)} = \frac{f(t)}{\int_t^{\infty} f(t)dt} \quad (2.24)$$

Conhecida a função acumulada de probabilidade de falha, $F(t)$, a sua derivada em ordem a t , dá-nos a função densidade de probabilidade.

$$f(t) = F'(t) \quad (2.25)$$

$$R(t) = 1 - F(t) \quad (2.26)$$

$$h(t) = \frac{F'(t)}{1-F(t)} \quad (2.27)$$

No caso de ser conhecida a função de fiabilidade ou de sobrevivência, $R(t)$, calculamos $f(t)$, derivando a função $F(t) = 1 - R(t)$, em ordem a t .

$$f(t) = -R'(t) \quad (2.28)$$

$$F(t) = 1 - R(t) \quad (2.29)$$

$$h(t) = \frac{-R'(t)}{R(t)}, \text{ porque } f(t) = -R'(t) \text{ e } h(t) = \frac{f(t)}{R(t)} \quad (2.30)$$

Finalmente, no caso de conhecermos $h(t)$, deduzimos as restantes expressões (Mendonça Dias,

$$2010c), \text{ a partir de } h(t) = \frac{\frac{d}{dt}[1-R(t)]}{R(t)} = \frac{-\frac{d}{dt}R(t)}{R(t)} = -\frac{d}{dt} \ln R(t), \therefore -\int_0^x h(t)dt = \ln R(x) - \ln R(0). \quad (2.31)$$

Como, por definição, $R(0) = 1$, obtém-se:

$$R(t) = e^{-\int_0^t h(u)du} = e^{-H(t)} = e^{-\int_0^t h(t)dt} \quad (2.32)$$

$$F(t) = 1 - R(t) = 1 - e^{-\int_0^t h(t)dt} \quad (2.33)$$

$$f(t) = F'(t) = h(t)e^{-\int_0^t h(t)dt} \quad (2.34)$$

Na tabela seguinte estão representadas as relações entre as várias funções apresentadas:

Tabela 2-3: Relações matemáticas entre as funções da fiabilidade $F(t)$, $f(t)$, $R(t)$ e $h(t)$

	$F(t)$	$f(t)$	$R(t)$	$h(t)$
$F(t)$	1	$\int_0^t f(t)dt$	$1 - R(t)$	$1 - e^{-\int_0^t h(t)dt}$
$f(t)$	$F'(t)$	1	$-R'(t)$	$h(t)e^{-\int_0^t h(t)dt}$
$R(t)$	$1 - F(t)$	$\int_t^\infty f(t)dt$	1	$e^{-\int_0^t h(t)dt}$
$h(t)$	$\frac{F'(t)}{1 - F(t)}$	$\frac{f(t)}{\int_t^\infty f(t)dt}$	$\frac{-R'(t)}{R(t)}$	1

2.2.1.4.1 Tempo médio de falha – MTTF

O MTTF é o tempo médio a que o componente se avaria (*Mean Time To Failure*). É uma média estatística que pode ser determinado através das expressões :

$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}$, para variáveis discretas, ou por $\bar{x} = \sum_{i=1}^n p(x_i)$, no caso de variáveis discretas em que se conhece a probabilidade de ocorrência de cada x_i .

Para variáveis contínuas o MTTF é dado por: $MTTF = \int_0^\infty f(t) t dt$ (2.35)

$$MTTF = \int_0^\infty f(t) t dt = - \int_0^\infty \frac{dR(t)}{dt} t dt, \text{ porque } f(t) = -\frac{dR(t)}{dt} \quad (2.36)$$

Efectuando a integração, vem, $MTTF = [-tR(t)]_0 + \int_0^\infty R(t) dt$, logo

$MTTF = \int_0^\infty R(t) dt$, porque a primeira parcela é nula, $R(\infty) = 0$, por definição. No caso, frequente, de a função de risco tomar o valor constante λ , vem:

$$MTTF = \int_0^{\infty} R(t) dt = \int_0^{\infty} e^{-\lambda t} dt = -\frac{e^{-\lambda t}}{\lambda} \Big|_0^{\infty} = \frac{1}{\lambda} \quad (2.37)$$

Sublinha-se que o MTTF apenas se aplica aos componentes não reparáveis (lâmpadas, rolamentos, vedantes, etc.).

2.2.2 Sistemas Reparáveis

O conceito de sistema reparável é geralmente associado à noção de equipamento. Após uma avaria os equipamentos ou sistemas reparáveis voltam a (poder) ser colocados ao serviço após a respectiva reparação. Um motor eléctrico, uma caixa redutora, um sistema de bombagem, são exemplos de sistemas reparáveis. No caso dos sistemas não reparáveis, geralmente associados à noção de componente, a sua falha implica a respectiva substituição por um componente com as mesmas características.

O conceito de taxa de falhas (ou de avarias) é utilizado em sistemas reparáveis para indicar a frequência à qual as falhas ocorrem. Para sistemas reparáveis é muitas vezes admitido, nomeadamente no período de vida útil, que as falhas ocorrem a uma taxa constante. Nesta situação a taxa de falhas é o inverso do MTBF.

As avarias ao longo do tempo podem ocorrer de formas distintas. Podem ser independentes e identicamente distribuídas (IID) ou, podem ocorrer de forma não independente e identicamente distribuída (NIID).

É importante fazer a distinção entre dispositivos ou componentes não reparáveis e equipamentos ou Sistemas Reparáveis (SR), quando estudamos a fiabilidade. No caso de componentes não reparáveis como por exemplo, uma lâmpada, um fusível ou um transistor a fiabilidade é a probabilidade de sobrevivência durante o período de vida esperado para o componente, podendo apenas ocorrer uma falha. Para Sistemas Reparáveis a fiabilidade é a probabilidade que a falha não ocorra durante o período de amortização, quando mais de uma falha pode ocorrer.

A maior parte dos equipamentos industriais pode ser incluído na categoria dos Sistemas Reparáveis (SR), entendidos como equipamentos que podem ser reparados de forma a desempenharem todas as suas funções. Entretanto, as intervenções de manutenção podem influenciar os intervalos de tempos entre falhas, e portanto, qualquer estudo de fiabilidade, deve ser antecedido por uma análise de dependência e de independência, dos dados disponíveis (Mendonça Dias, 2002, p. 32).

No estudo da fiabilidade e na melhoria da eficiência global, é utilizado o conceito de falha no sentido de fim da capacidade de um dado componente (equipamento ou Sistema Reparável)

continuar a desempenhar a função que lhe é requerida. Por seu lado Modo de Falha, outro conceito importante, refere-se à descrição da falha.

O estudo da fiabilidade dos Sistemas Reparáveis tem por objectivo poder prever o seu desempenho e comportamento futuros. O processo de análise requer o conhecimento completo do sistema (características, meio envolvente, formas de funcionar e modos de falha) e envolve a utilização da análise estatística, designadamente de processos estocásticos, devido aos efeitos aleatórios, não controláveis e não determinísticos que influenciam o comportamento dos Sistemas Reparáveis.

De acordo com as características e as fases da vida de cada Sistema Reparável podem ser utilizadas diversas distribuições estatísticas para modelar o seu comportamento. A previsão do comportamento futuro requer o conhecimento do seu histórico e a utilização de dados estatísticos.

2.2.2.1 Curva da banheira

O estudo do ciclo de vida de um equipamento típico mostra que a taxa de falhas varia com o decorrer do tempo. O gráfico da figura 2.1 mostra essa evolução para um determinado equipamento. Este gráfico, construído a partir de dados experimentais, conhecido por curva em forma de banheira, é constituído por três zonas principais. Uma zona A, de mortalidade infantil, onde a taxa de falhas é decrescente, uma segunda zona B, de vida útil, onde a taxa de falhas é constante e uma zona C, de envelhecimento, onde a taxa de falhas é crescente.

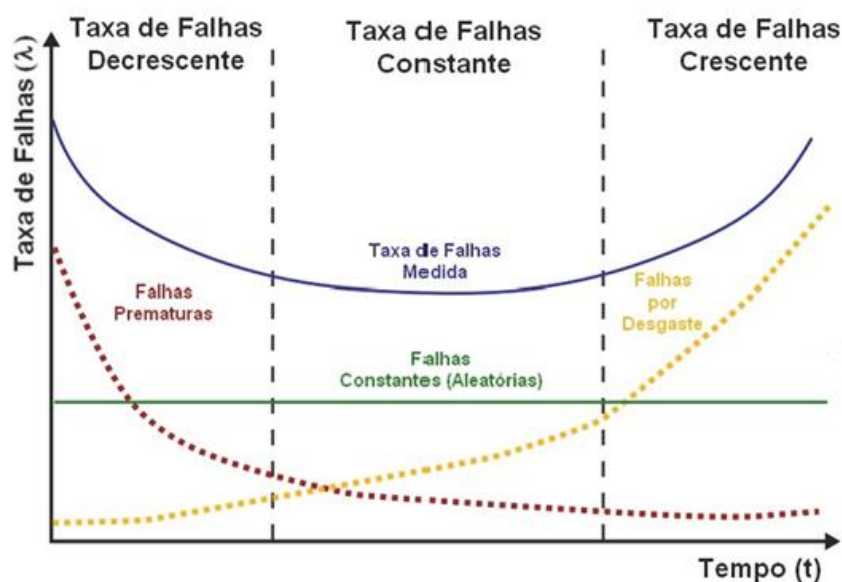


Figura 2-1: Variação da taxa de falhas durante a vida de um sistema (1)

¹ Retirado de (Natário, 2011)

Na zona de mortalidade infantil as falhas ocorrem na fase inicial de funcionamento do equipamento e são provocadas por componentes defeituosos, por montagens deficientes, insuficiente número de ensaios ou deficiente controlo de qualidade.

Na fase de vida útil os equipamentos avariam devido a circunstâncias aleatórias, por sobrecargas ou má utilização. Nesta fase, na generalidade dos equipamentos, a fiabilidade é expressa por uma distribuição de probabilidades exponencial. A substituição de componentes ou de peças de reserva, na fase de vida útil, não altera a fiabilidade do equipamento.

Após um determinado número de horas de funcionamento o equipamento entra na zona de envelhecimento onde os componentes e peças começam a sofrer os efeitos do desgaste, no caso dos equipamentos mecânicos (ou de obsolescência, nos restantes). Nesta fase a adequada substituição de peças e de componentes promove a redução da taxa de falhas e o aumento da fiabilidade do equipamento.

2.2.2.2 Processos de Poisson Homogéneos

Para estudar a fiabilidade dos sistemas reparáveis, recorre-se à análise estatística de acordo com vários modelos matemáticos. Para um dado sistema reparável o conjunto de dados constituído pelo tempo de duração do estudo (igual para todos os subsistemas) e pelos intervalos de tempo, entre avarias, ordenados cronologicamente, é considerado um processo estocástico pontual.

Para que um processo estocástico pontual $\{N(\tau), \tau \geq 0\}$ possa ser considerado um Processo de Poisson Homogéneo (HPP), necessita de verificar as seguintes condições:

- $N(0) = 0$
- $\{N(\tau), \tau \geq 0\}$ é incrementado de uma forma independente
- O número de falhas em qualquer intervalo de tempo Δt , segue uma distribuição de Poisson, com um valor médio de $m = \lambda_0 \times \Delta t$

Verificadas as condições anteriores a probabilidade de ocorrerem n_f falhas num determinado intervalo de tempo Δt , é dada pela seguinte fórmula:

$$P\{N(\Delta t) = n_f\} = \frac{e^{-m} m^{n_f}}{n_f!} \quad (2.38)$$

Para $n_f = 0$ e um intervalo de tempo Δt , a fiabilidade do sistema reparável, que falhe de acordo com um PPH, é dada por:

$$R(\Delta t) = e^{-\lambda \Delta t} \quad (2.39)$$

Esta expressão é muito utilizada para calcular a fiabilidade de Sistemas Reparáveis, modelados por um PPH.

2.2.2.3 Teste de Laplace

O teste de Laplace permite verificar se a taxa de falhas de um Sistema Reparável é constante ou se apresenta tendência. Admitindo um PPH, a estatística do teste de Laplace (z_0) é distribuída segundo a Normal reduzida e pode ser obtida pela equação (2.40)

$$z_0 = \sqrt{12n_f} \left[\frac{\sum_{i=1}^{n_f} \tau_i}{n_f T} - 0,5 \right] \quad (2.40)$$

Onde: T representa o tempo de duração do ensaio, τ_i corresponde à idade do sistema para a avaria de ordem i e n_f representa o número de componentes que falham.

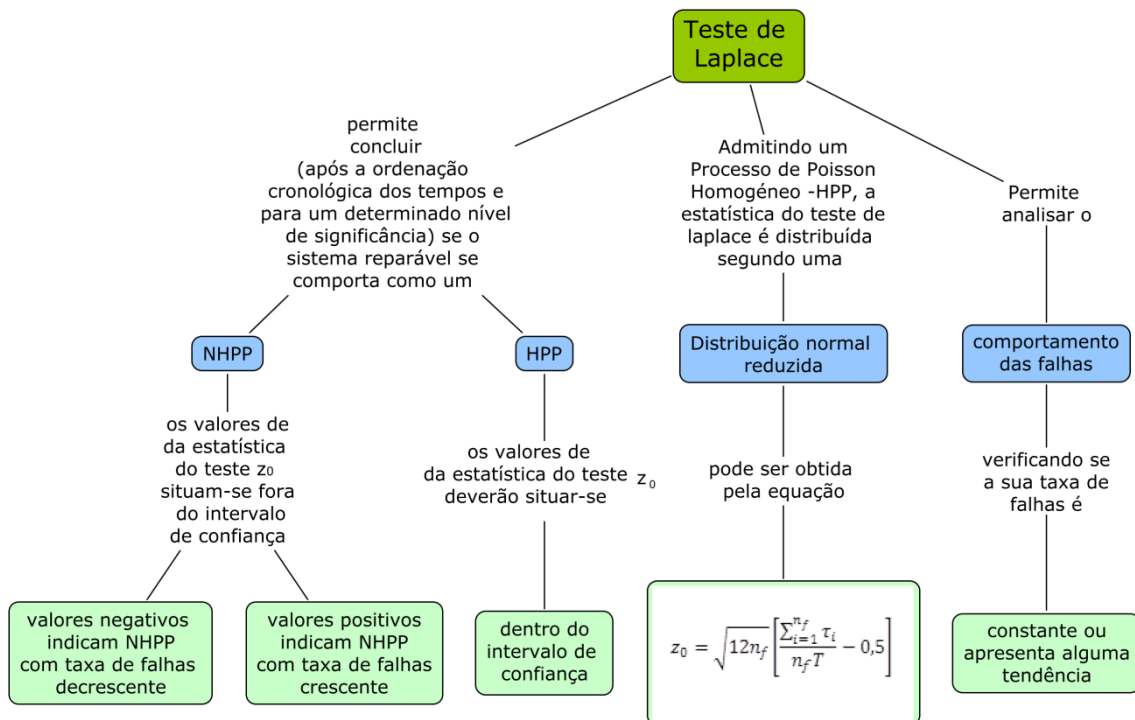


Figura 2-2: Teste de Laplace

Nos casos em que as falhas, num sistema reparável, ocorrem aleatoriamente, sem poderem ser representadas por distribuições contínuas, existe a possibilidade de as representar por uma série de eventos discretos, sendo designadas por Processos Estocásticos Pontuais.

Nestas situações, é possível conhecer a tendência do processo, se existir, utilizando os instrumentos da estatística matemática. O teste de Laplace é aplicado quando se pretende averiguar se a taxa de avarias é constante, ou, se é crescente ou decrescente (Mendonça Dias, 2010).

Admitindo um Processo de Poisson Homogéneo (HPP) a estatística do Teste de Laplace é distribuída segundo uma Distribuição Normal Reduzida, representada pela seguinte fórmula:

$$U = \sqrt{12n_f} \left(\frac{\sum_{i=1}^{n_f} \tau_i}{n_f T} - 0,5 \right) \quad (2.41)$$

Após a ordenação cronológica dos dados e para um determinado nível de significância, a aplicação do teste permite concluir que o Sistema Reparável se comporta como um HPP com taxa de falhas constante, se os valores obtidos se situarem dentro do intervalo de confiança. No caso de isso não acontecer e o valor obtido ficar fora do intervalo de confiança, estamos perante um Processo de Poisson não Homogéneo (NHPP), com duas possibilidades:

- Os valores obtidos situam-se à esquerda do intervalo e o Sistema Reparável é modelado por um NHPP com taxa de falhas decrescente.
- Os valores obtidos situam-se à direita do intervalo e o Sistema Reparável é modelado por um NHPP com taxa de falhas crescente.

O conhecimento da taxa de falhas de um Sistema Reparável tem diversas consequências práticas, para a manutenção, por exemplo, no caso da taxa de falhas ser constante não se justifica a substituição preventiva sistemática de componentes (com função de risco constante). No entanto, os Sistemas Reparáveis com uma taxa de falhas constante não ficam, automaticamente excluídos da Manutenção Preventiva, no período da vida útil, porque podem integrar componentes com uma função de risco crescente, que requerem intervenções programadas de manutenção (Mendonça Dias, 2002, pp. 36,37).

Quando os Sistemas Reparáveis apresentam uma taxa de falhas crescente, isto significa que o tempo entre falhas, está a diminuir em consequência de fenómenos de envelhecimento, como causa mais provável, embora possam existir outras causas, designadamente, a existência de componentes com uma função de risco crescente e uma deficiente exploração do equipamento, por parte do operador (Mendonça Dias, 2002, pp. 37,38).

2.2.2.4 *Tempo médio entre falhas - MTBF*

O *MTBF* é o tempo médio entre falhas (Mean Time Between Failure) e a expressão estatística é semelhante à obtida para o *MTTF*. Enquanto o *MTTF* se aplica aos componentes não reparáveis o *MTBF* é aplicável aos componentes reparáveis (motores, redutores, etc.)

Para sistemas reparáveis em que a taxa de falhas toma o valor constante λ , temos:

$$MTBF = \frac{1}{\lambda} \quad (2.42)$$

2.2.2.5 Tempo médio de reparação - MTTR

O *MTTR* é o tempo médio de reparação (*Mean Time To Repair*) de um conjunto de componentes reparáveis. É obtido dividindo o tempo total de reparação pelo número de reparações.

2.2.2.6 Tempo médio de manutenção preventiva - MTPM

O *MTPM* é o tempo médio de paragem do equipamento para ser objecto de intervenções programadas (excepto avarias ou reparações).

2.2.2.7 MTBF Mínimo garantido e intervalos de confiança

Conforme já foi referido, os Sistemas Reparáveis com taxa de falhas constante são modelados por um processo de Poisson Homogéneo.

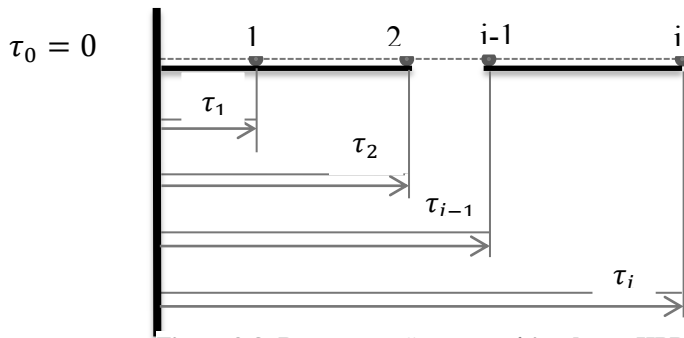


Figura 2-3: Representação esquemática de um HPP

No ensaio de um Sistema Reparável, HPP, com taxa de falhas constante, foram registados os tempos de ocorrência das i -falhas, conforme se representa no esquema². Fazendo $x_i = \tau_i - \tau_{i-1}$, o valor estimado do tempo médio entre falhas. MTBF, é dado pela fórmula(Mendonça Dias, 2002):

$$MTBF = \hat{\theta} = \frac{1}{\hat{\lambda}} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} \quad (2.43)$$

Para além do estimador do MTBF também é necessário calcular o intervalo de confiança. Considerando a função de distribuição de Poisson, dada por:

$$P(X \leq x) = F(x) = \sum_{i=0}^x \frac{e^{-m} m^i}{i!} \quad (2.44)$$

² Retirado de (Mendonça Dias, 2002, p. 38)

E verificados os pressupostos do Processo de Poisson Homogéneo (HPP), o cálculo do limite inferior de θ , ou o superior de λ , requer a resolução da equação (Mendonça Dias, 2002):

$$\sum_{i=0}^{n_f} \frac{e^{-m_s} m_s^i}{i!} = \alpha \quad (2.45)$$

Na fórmula, m_s é o limite superior para o número esperado de falhas, de forma a que a probabilidade de se obter, n_f ou menos avarias, é dada por α .

Devido à complexidade da equação, na sua resolução, é geralmente utilizada a seguinte propriedade: A $P(x \text{ ou menos})$ quando esperamos m falhas (média da distribuição de Poisson) é igual à probabilidade da variável de χ^2 [com $2(n_f + 1)$ graus de liberdade] exceder $2m$. O que corresponde à fórmula:

$$2m = \chi^2_{\alpha, 2(n_f+1)} \quad (2.46)$$

Então, recorrendo a valores tabelados, o limite superior do número de falhas, m_s quando se esperam, n_f falhas [nível de confiança $(1-\alpha)$] é dado por (Mendonça Dias, 2002):

Da propriedade atrás referida podemos escrever, $2m_s = \chi^2_{\alpha, 2(n_f+1)}$. Também sabemos que

$m_s = \lambda_s \times T = \frac{T}{\theta_i}$, e portanto, resolvendo a primeira equação em ordem a m_s e substituindo

na segunda, fica: $\lambda_s = \frac{\chi^2_{\alpha, 2(n_f+1)}}{2T}$, (2.47)

e $\theta_i = \frac{2T}{\chi^2_{\alpha, 2(n_f+1)}}$ (2.48)

2.2.2.8 Testes de garantia de Fiabilidade

Em geral, pretende-se garantir um valor mínimo para o MTBF (θ_i) e coloca-se a questão de saber qual a duração do teste de forma a garantir o MTBF com um determinado nível de confiança, $(1-\alpha)$.

Utilizando a fórmula já referida, relacionada com as distribuições de Poisson e do Qui-quadrado, podemos escrever (Mendonça Dias, 2002):

$2m_s = \chi^2_{\alpha, 2(n_f+1)}$, e também, $m_s = \lambda_s \times T = \frac{T}{\theta_i}$. Substituindo o valor de m_s na primeira equação e resolvendo em ordem a T , $2\lambda_s T = \chi^2_{\alpha, 2(n_f+1)} \Leftrightarrow T = \frac{\chi^2_{\alpha, 2(n_f+1)}}{2\lambda_s}$ (2.49)

Substituindo λ_s , por $\frac{1}{\text{MTBF}}$, vem:

$$T = \text{MTBF} \times \frac{2}{2(n_f+1)} \quad (2.50)$$

Para otimizar os procedimentos é conveniente a definição de um teste de amostragem, conforme se representa na figura:

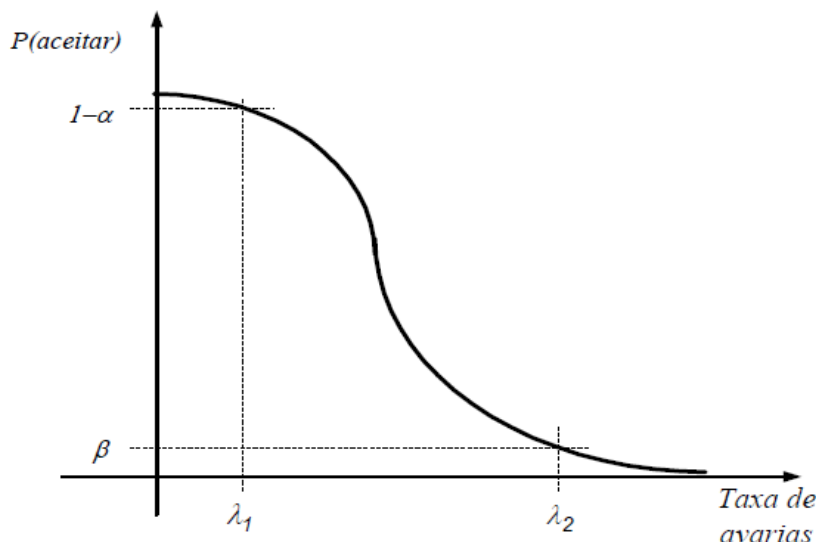


Figura 2-4: Curva característica do teste ³

No gráfico está representada a curva do teste onde estão representados os diversos parâmetros:

Tabela 2-4: Teste de garantia de fiabilidade⁴

Teste de garantia de fiabilidade - Parâmetros	
λ_1	Valor baixo da taxa de falhas, associado a uma probabilidade $(1 - \alpha)$
α	Risco do fornecedor (probabilidade de rejeitar um bom produto)
λ_2	Valor alto da taxa de falhas, associada à qual temos uma probabilidade β de aceitar o produto
β	Risco do cliente (probabilidade de aceitar um mau produto)

Para executar este teste após definirmos o tempo T de duração do teste e o número máximo de falhas para os valores escolhidos de α e β , utiliza-se o seguinte critério: Aceitar o equipamento se ao fim do tempo T se registarem n_f falhas, ou menos. Rejeitar, em caso contrário.

Utilizando a distribuição do Qui-quadrado, substituindo λ por λ_1 e λ_2 e dividindo as equações obtidas, obtém-se, sucessivamente(Mendonça Dias, 2002):

$$2T\lambda_1 = \chi^2_{(1-\alpha),2(n_f+1)} \quad \text{e} \quad 2T\lambda_2 = \chi^2_{\beta,2(n_f+1)} \cdot \text{Dividindo ambas as equações:}$$

³ Retirado de (Mendonça Dias, 2002)

⁴ Retirado de (Mendonça Dias, 2002)

$\frac{2T\lambda_2}{2T\lambda_1} = \frac{\chi^2_{\beta,2(n_f+1)}}{\chi^2_{(1-\alpha),2(n_f+1)}} \Leftrightarrow \frac{\lambda_2}{\lambda_1} = \frac{\chi^2_{\beta,2(n_f+1)}}{\chi^2_{(1-\alpha),2(n_f+1)}}$, como sabemos que $\lambda T = \frac{T}{\theta}$, podemos escrever

$\frac{\lambda_2}{\lambda_1} = \frac{T}{\theta_2} \times \frac{\theta_1}{T} = \frac{\theta_1}{\theta_2}$ e estabelecer a expressão pretendida:

$$\frac{\lambda_2}{\lambda_1} = \frac{\chi^2_{\beta,2(n_f+1)}}{\chi^2_{(1-\alpha),2(n_f+1)}} = \frac{\theta_1}{\theta_2} \quad (2.51)$$

A resolução da equação em ordem a n_f pode ser efectuada através das tabelas da distribuição Qui-quadrado.

Para obter a duração do teste resolve-se em ordem a T , a expressão mais favorável, na perspectiva do consumidor:

$$2\lambda_2 T = \chi^2_{\beta,2(n_f+1)} \Leftrightarrow T = \frac{\chi^2_{\beta,2(n_f+1)}}{2\lambda_2} \quad (2.52)$$

E recorre-se, novamente, às tabelas da distribuição Qui-quadrado.

2.2.2.9 Teste Sequencial

Para aplicação em Sistemas Reparáveis, em fase de protótipo, ou em testes de aceitação por amostragem, pode utilizar-se um teste gráfico, designado por Teste Sequencial, representado na figura seguinte:

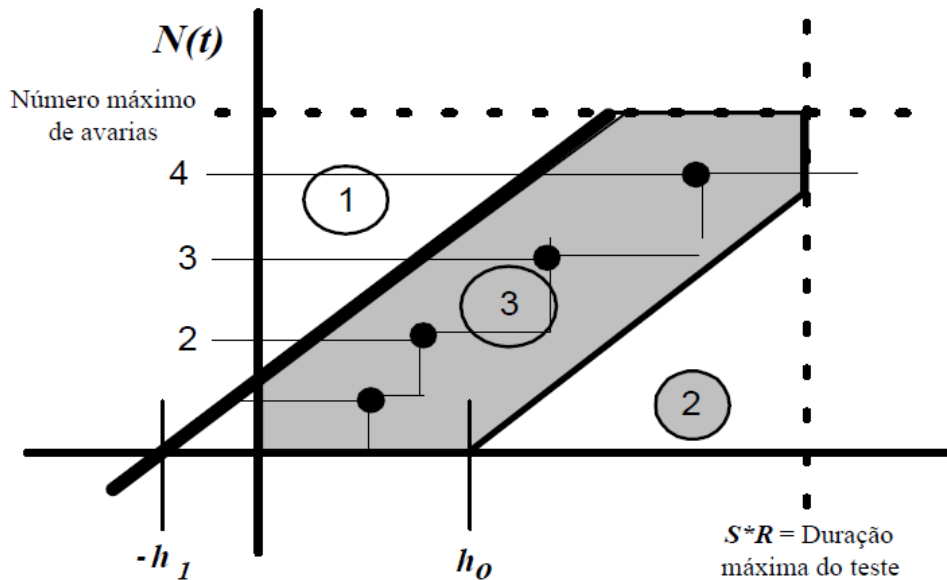


Figura 2-5: Gráfico do teste sequencial⁵

Para construir o gráfico desenham-se duas rectas com as seguintes equações:

⁵ Retirado de (Mendonça Dias, 2002)

$t = -h_1 + s[N(t)]$ para definir a recta fronteira da zona 1, ou zona de rejeição e $t = -h_0 + s[N(t)]$ para limitar a zona 2, ou zona de aceitação.

Onde os coeficientes das rectas, h_0 , h_1 e s , são dados pelas fórmulas:

$$h_0 = \frac{\ln\left(\frac{1-\alpha}{\beta}\right)}{\lambda_2 - \lambda_1}, h_1 = \frac{\ln\left(\frac{1-\beta}{\alpha}\right)}{\lambda_2 - \lambda_1}, s = \frac{\ln\left(\frac{\lambda_2}{\lambda_1}\right)}{\lambda_2 - \lambda_1} \quad (2.53)$$

No gráfico, o número máximo de falhas é dado pela recta horizontal de equação

$$R = n_f + 1 \quad (2.54)$$

e a duração máxima do teste é representado pela recta vertical de equação:

$$x = s \times R. \quad (2.55)$$

2.2.2.10 Modelo de Crow (“Fiabilidade Crescente”) e intervalos de confiança

No caso de sistemas com tendência para uma taxa de avarias decrescentes verifica-se que eles podem ser estudados de acordo com o método de Crow.

A ocorrência de Processos de Poisson não Homogêneos (PPNH), significa que os Sistemas Reparáveis têm uma taxa de falhas dependente do tempo, com os intervalos de tempo entre falhas a seguir uma tendência crescente (ou decrescente).

Para aplicação em Sistemas Reparáveis com processos PPNH, foi desenvolvido o modelo de Crow, para permitir a realização de testes estatísticos e a definição de intervalos de confiança (Mendonça Dias, 2002):

$$\rho(\tau) = \lambda^* \beta^* \tau^{\beta^* - 1}, \lambda^*, \beta^* > 0, \tau \geq 0 \quad (2.56)$$

Para uma estimativa dos valores dos coeficientes λ^* e β^* e para um Sistema Reparável com n_f falhas, num tempo T de duração do teste, em que τ_i representa o tempo de ocorrência da i -falha, calcula-se (Mendonça Dias, 2002):

$$\hat{\beta}^* = \frac{n_f}{\sum_{i=1}^{n_f} \ln \frac{T}{\tau_i}} \quad e, \quad \hat{\lambda}^* = \frac{n_f}{T \hat{\beta}^*} \quad (2.57)$$

Para determinar os limites dos intervalos de confiança, no teste limitado pelo tempo, utiliza-se a fórmula:

$$\hat{\theta}(T) = \frac{1}{\hat{\lambda} \hat{\beta} T^{\beta-1}} \quad (2.58)$$

Utilizando as tabelas respectivas para obter os valores de π_1 e de π_2 , para o intervalo de confiança desejado, podemos calcular os limites à esquerda e à direita do intervalo de confiança pretendido:

$$\text{Limite à esquerda (inferior)} : \theta_e(T) = \hat{\theta}(T)\pi_1$$

$$\text{Limite à direita (superior)} : \theta_d(T) = \hat{\theta}(T)\pi_2$$

No caso do teste se limitar à falha n_f , com um tempo T_{n_f} , pode ser utilizado o método da máxima verosimilhança para calcular os coeficientes λ^* e β^* :

$$\hat{\beta}^* = \frac{n_f}{\sum_{i=1}^{n_f} \ln \frac{T}{\tau_i}} \quad e, \quad \hat{\lambda}^* = \frac{n_f}{T\hat{\beta}^*} \quad (2.59)$$

Nesta situação, em que o teste é limitado por falhas, para determinar os limites dos intervalos de confiança, utiliza-se a fórmula:

$$\hat{\theta}(T) = \frac{1}{\hat{\lambda}\hat{\beta}T^{\beta-1}} \quad (2.60)$$

Utilizando as tabelas respectivas para obter os valores de π_1 e de π_2 , para o intervalo de confiança desejado, podemos calcular os limites à esquerda e à direita do intervalo de confiança pretendido:

$$\text{Limite à esquerda (inferior)} : \theta_e(T) = \hat{\theta}(T)\pi_1 \quad (2.61)$$

$$\text{Limite à direita (superior)} : \theta_d(T) = \hat{\theta}(T)\pi_2 \quad (2.62)$$

2.2.2.11 Manutibilidade

A manutibilidade é uma característica a levar em conta na fase de concepção e de fabricação do componente. Um equipamento com uma elevada manutibilidade pode ser rapidamente reparado e colocado ao serviço, após a ocorrência de uma falha. De acordo com Carlos Pinto (2002), citando as normas portuguesas, a manutibilidade pode ser definida como a “*Aptidão de um bem, nas condições de uso especificadas, para ser mantido ou restaurado de tal modo que possa realizar as funções que lhe são exigidas quando a manutenção é realizada em condições definidas utilizando procedimentos e recursos prescritos*”.

A manutibilidade pode ser medida através do cálculo dos tempos de manutenção, ou com base no trabalho efectuado (medido em horas × homem), ou quantificando os custos de manutenção (Assis, 1997).

A manutibilidade de um componente pode ser melhorada se foram tomadas (de preferência na fase de projecto) algumas medidas básicas, nomeadamente: instalação de sensores para monitorização da temperatura, vibrações, desgaste, etc., simplificação e normalização das peças e componentes utilizados, disponibilização rápida de peças de reserva e criação de acessos para a inspecção e a manutenção (Pinto C. V., 2002).

2.2.2.12 Disponibilidade

A Disponibilidade (estacionária) é uma característica dos sistemas reparáveis e pode ser interpretada como a probabilidade de que um componente esteja disponível e em boas condições de funcionamento em qualquer momento futuro. Pode ser determinada pela expressão:

$$D = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR + MTPM} \quad (2.63)$$

Nota: MTPM é o tempo médio de espera

Também se pode determinar a disponibilidade intrínseca e a disponibilidade operacional. A disponibilidade intrínseca D_i , mede a fiabilidade do sistema e é obtida através da expressão:

$$D_i = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} \quad (2.64)$$

A disponibilidade intrínseca tem em conta os tempos gastos nas acções de manutenção preventiva programada, nem os tempos de administração e logística (Assis, 2010).

A disponibilidade operacional D_o , mede a eficiência da organização e a manutibilidade do sistema e é obtida dividindo o tempo útil T_u (ou tempo activo) pelo tempo total $T_u + T_p$.

$$D_o = \frac{T_u}{T_u + T_p} \quad (2.65)$$

Nota: T_p representa o tempo inoperacional, em manutenção ou aguardando assistência.

A disponibilidade depende da fiabilidade e da manutibilidade. Um equipamento com elevada fiabilidade raramente avaria o que favorece a disponibilidade. Da mesma forma, um

equipamento com elevada manutibilidade, mesmo que avarie, pode ser rapidamente reparado e colocado ao serviço, contribuindo para o aumento da disponibilidade.

2.2.2.13 Fiabilidade de Sistemas

A maioria dos equipamentos e sistemas técnicos são constituídos por diversos componentes cuja avaria pode comprometer o funcionamento do equipamento. Para a análise da fiabilidade de sistemas com componentes independentes, distinguimos três tipos essenciais de configurações: sistemas ligados em série, sistemas redundantes e sistemas complexos. No caso dos sistemas redundantes ainda podemos distinguir os sistemas de redundância total, parcial e sequencial ou standby (Mendonça Dias, 2010b):

O aprofundamento da fiabilidade requer a utilização de métodos estatísticos baseados nas probabilidades, sendo necessário o conhecimento dos conceitos fundamentais associados à análise estatística e cálculo das probabilidades.

2.2.2.13.1 Fiabilidade de sistemas ligados em série

O estudo da fiabilidade dos sistemas de componentes independentes é geralmente efectuado com base em modelos com taxas de avarias constantes e portanto seguindo um Processo de Poisson Homogéneo.

Nos componentes ligados em série a falha de um deles provoca a avaria do equipamento (ou do sistema). Para o sistema funcionar correctamente todos os componentes têm de estar em boas condições. Neste caso a fiabilidade é dada pelo produto das fiabilidades de todos os componentes cujo bom funcionamento é indispensável ao funcionamento adequado do sistema.

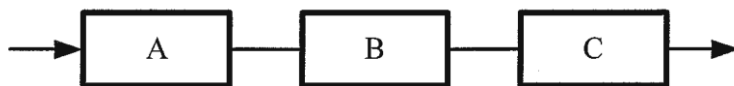


Figura 2-6: Sistema de três componentes em série⁶

Para o caso de n elementos em série, todos com taxas de avaria constantes, a fiabilidade é dada pela expressão:

$$R_s(t) = \prod_{i=1}^n R_i(t) \quad (2.66)$$

⁶ Figuras retiradas de (Mendonça Dias, 2010b)

Observamos que no caso dos componentes em série a fiabilidade do sistema é menor do que a fiabilidade de cada um dos componentes. Sublinhe-se que o estabelecimento de uma dada taxa de avarias tem por pressuposto que são respeitadas as condições de funcionamento do sistema.

Para três sistemas ligados em série, com taxas de falhas λ_1 , λ_2 e λ_3 , constantes, a taxa de falhas do sistema é dada pela adição das taxas de falha de cada componente,

$$\lambda_s(t) = \sum_{i=1}^n \lambda_i \quad (2.67)$$

enquanto que a fiabilidade e a probabilidade de falha é expressa por::

$$R_s(t) = e^{-(\lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3)t} \quad (2.68)$$

$$F_s(t) = 1 - e^{-(\lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3)t} \quad (2.69)$$

O MTTF do sistema $MTTF_s$ é dado pela expressão:

$$MTTF_s = \frac{1}{\lambda_s} = \frac{1}{\sum_{i=1}^n \lambda_i} \quad (2.70)$$

2.2.2.13.2 Fiabilidade de sistemas redundantes

Os sistemas redundantes são utilizados quando pretendemos melhorar a fiabilidade de um sistema. Uma central hidráulica com uma bomba a funcionar e outra a aguardar a entrada em funcionamento, os vários subsistemas de um avião, os diversos conjuntos de pneus de um atrelado, etc., são exemplos de sistemas redundantes.

Redundância Total

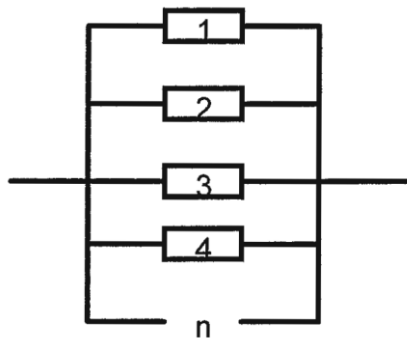


Figura 2-7: Sistema redundante total

No caso de um sistema com n unidades em paralelo a fiabilidade é a probabilidade de pelo menos um componente não falhar.

Também se pode afirmar que para o sistema falhar é necessário que nenhum componente funcione. Neste caso a probabilidade de falha do sistema é:

$$F_s = F_1(t) \times F_1(t) \times F_1(t) \times \dots \times F_n(t) = \prod_{i=1}^n F_i(t) \quad (2.71)$$

Portanto, como $R_s = 1 - F_s$ e $F_i = 1 - R_i$, temos:

$$R_s(t) = 1 - \prod_{i=1}^n [1 - R_i(t)] \quad (2.72)$$

Sistemas combinados

Por vezes há interesse em combinar os dois tipos de sistemas. Entre outras configurações, podemos ter uma série de componentes todos eles protegidos por componentes redundantes, formando subsistemas paralelos com a finalidade de melhorar a fiabilidade do sistema.

Na figura é apresentado um sistema constituído por n sub-sistemas-paralelo em série, e cada paralelo com m componentes-paralelo.

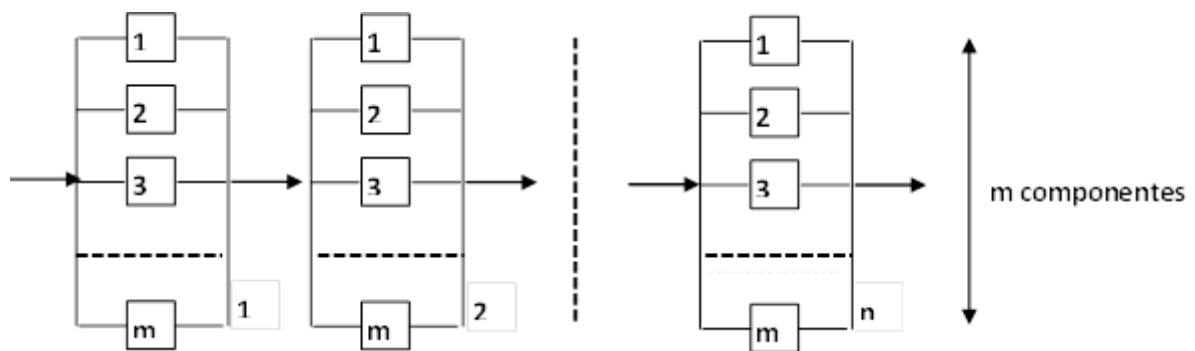


Figura 2-8: Sistema "Série de paralelos"

No caso de todos os componentes terem a mesma fiabilidade $R_1(t)$, a fiabilidade do sistema é dada pela expressão:

$$R(t) = \{1 - [1 - R_1(t)]^m\}^n \quad (2.73)$$

No caso de uma série de componentes estar protegida por idênticas séries redundantes, podemos ter um sistema com a configuração apresentada na figura: paralelo de m sub-sistemas –série em paralelo e cada série com n componentes.

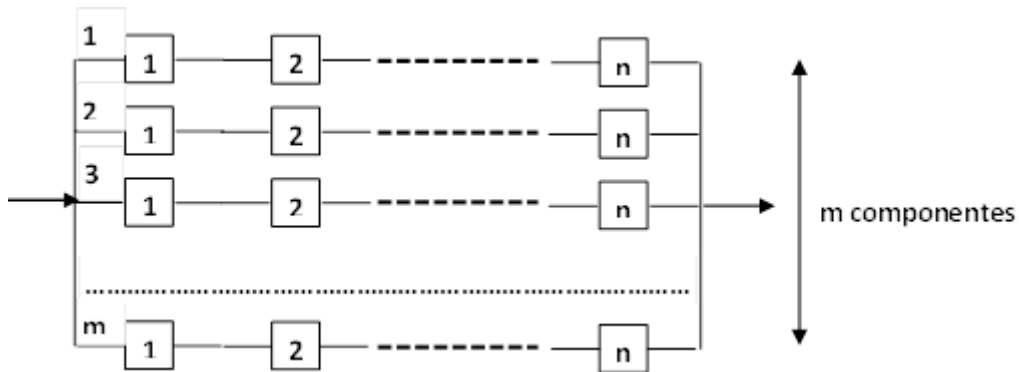


Figura 2-9: Sistema "Paralelo de séries"

No caso de todos os componentes terem a mesma fiabilidade $R_1(t)$, a fiabilidade do sistema é dada pela expressão:

$$R(t) = 1 - [1 - R_1^n(t)]^m \quad (2.74)$$

As configurações “Série de paralelos” apresentam uma maior fiabilidade quando comparados com os sistemas “Paralelo de séries”, com o mesmo número de componentes. Essa diferença é atenuada com o aumento da fiabilidade dos simples componentes.

Redundância Parcial

Na redundância total apenas é necessário que um componente em paralelo funcione para que o sistema funcione. No caso, da redundância parcial o sistema, com n componentes activos, só funciona desde que, pelo menos k componentes estejam em boas condições de funcionamento.

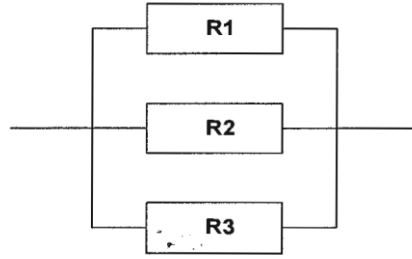


Figura 2-10: Sistema redundante parcial

No sistema representado na figura existem três componentes activos (por exemplo, três geradores eléctricos) e o sistema só funciona se pelo menos dois componentes estiverem activos (e em boas condições).

$$R_{k(n)} = \sum_{i=k}^n \frac{n!}{i!(n-i)!} R^i (1-R)^{n-i} \quad (2.75)$$

$$R_S = R_1 R_2 R_3 + R_2 R_3 R_1 + R_1 R_3 R_2 + R_1 R_2 R_3 \quad (2.76)$$

Redundância Sequencial (Standby)

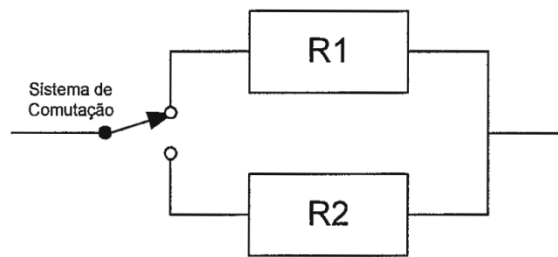


Figura 2-11: Sistema sequencial ou standby

Nos casos anteriores, todos os componentes do sistema se encontravam activos, isto é, em funcionamento. No entanto, existem situações em que é preferível utilizar redundâncias passivas, de comutação ou em standby.

No diagrama da figura, o sistema é constituído por um componente em funcionamento R1, por um componente redundante R2 e por um comutador SC. A entrada em funcionamento do componente R2 depende da falha do componente R1 e da actuação do comutador.

Verificadas diversas condicionantes, a função de fiabilidade é dada por:

$$R_{sb}(t) = \sum_{i=0}^n \frac{(\lambda t)^i e^{-\lambda t}}{i!} = \frac{(\lambda t)^0 e^{-\lambda t}}{0!} + \frac{(\lambda t)^1 e^{-\lambda t}}{1!} \quad (2.77)$$

$$R_{sb}(t) = e^{-\lambda t} + \lambda e^{-\lambda t} = e^{-\lambda t} (1 + \lambda t) \quad (2.78)$$

2.2.2.13.3 Fiabilidade de sistemas complexos

Nos sistemas complexos os componentes são ligados de forma a constituírem vários subsistemas. Por exemplo, no caso de um avião é requerido que o sistema de combustível (3) esteja operacional e que pelo menos um dos motores de cada lado esteja em boas condições de funcionamento.

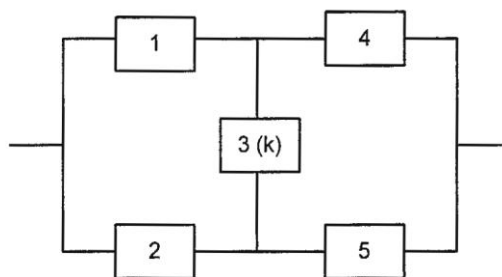


Figura 2-12: Sistema complexo

$$R_{sis} = R_k \times R(sis/k) + R_{\bar{k}} \times R(sis/\bar{k}) \quad (2.79)$$

$$R_{\bar{k}} = 1 - R_k \quad (2.80)$$

2.2.3 Funções de distribuição aplicadas à fiabilidade

A distribuição de probabilidade da variável aleatória X é um dos conceitos mais importantes da Teoria das Probabilidades e está na base da constituição de modelos matemáticos apropriados para o estudo de muitos fenómenos sociais, naturais e da área da engenharia.

Na distribuição de probabilidade discreta o número de valores possíveis para x é finito ou infinito numerável. Sendo X uma variável aleatória discreta (Pedrosa & Gama, 2004):

“a função de probabilidade de X é uma função f que associa a cada valor possível x de X a sua probabilidade $f(x)=P(X=x)$ e tem as seguintes propriedades (i) $f(x) \geq 0$; (ii) $\sum_x f(x) = 1$ ”

“A sua função de distribuição acumulada F está definida para qualquer valor real x e é dada por $F(x) = P(X \leq x) = \sum_{u \leq x} f(u)$, onde u toma todos os valores possíveis da variável aleatória X não superiores a x ”.

$$(2.81)$$

Na distribuição de probabilidade contínua, x pode tomar qualquer valor de um determinado intervalo. Sendo X uma variável aleatória contínua (Pedrosa & Gama, 2004):

“A função densidade de probabilidade (f.d.p.) de X é uma função f tal que $P(a < X < b) = \int_a^b f(x)dx, \forall a, b \in \mathbb{R}: a \leq b$, e tem as seguintes propriedades: (i) $f(x) \geq 0, \forall x \in \mathbb{R}$; (ii) $\int_{-\infty}^{+\infty} f(x)dx = 1 = 1$ ”

$$(2.82)$$

“A sua função de distribuição acumulada F está definida para qualquer valor real x é dada por $F(x) = P(X \leq x) = \int_{-\infty}^x f(u)du$ ”.

$$(2.83)$$

Para fazer o estudo da fiabilidade dos equipamentos e modelar o seu comportamento são utilizadas diversas distribuições estatísticas: Exponencial, Weibull, Poisson, Normal, Gama e Binomial, entre outras. A utilização destas distribuições permite modelar a fiabilidade nos três períodos de vida (Weibull), dos equipamentos ou em apenas um deles (Exponencial, Poisson, etc.). A distribuição de Weibull é a mais utilizada para descrever o comportamento dos equipamentos na fase de desgaste

Devido ao seu grande interesse prático, são descritos alguns aspectos relevantes das distribuições de probabilidades, discretas (Binomial e Poisson) e contínuas (Exponencial, Norma, Log-Normal e Weibull) mais utilizadas.

2.2.3.1.1 Distribuição binomial

A variável aleatória discreta X segue uma distribuição binomial, de parâmetros n e p e representa-se por $X \sim Bi(n, p)$, se resultar da realização de n provas independentes, cada uma delas com dois resultados possíveis (sucesso ou falha), sendo que $p = P(A) = P(\text{“sucesso”})$ se mantém constante ao longo das n execuções das provas (Figueiredo, Figueiredo, Ramos, & Teles, 2009).

Se X representar uma distribuição binomial com parâmetros n e p a sua função probabilidade é dada por: $f(x) = P(X = x) = \binom{n}{x} p^x (1 - p)^{n-x}$, $x = 0, 1, \dots, n$, em que $\binom{n}{x} = \frac{n!}{x!(n-x)!}$ e $p > 0$

$$(2.84)$$

A função $f(x)$ dá-nos a probabilidade de se obterem exactamente x sucessos em n provas e a expressão $\binom{n}{x} = \frac{n!}{x!(n-x)!}$,

$$(2.85)$$

indica o número de vezes em que podem ocorrer r sucessos em n provas.

2.2.3.1.2 Distribuição de Poisson

Uma distribuição de Poisson é definida pela função de probabilidade

$$f(x) = \frac{e^{-\lambda} \lambda^x}{x!}, \text{ para } x = 0, 1, 2, \dots, \text{ e } \lambda > 0, \quad (2.86)$$

É geralmente utilizada para descrever variáveis discretas do tipo X – “*número de ocorrências de um acontecimento A por um determinado intervalo de tempo ou de espaço*”(Figueiredo, Figueiredo, Ramos, & Teles, 2009) e representa-se por $X \sim P_o(\lambda)$.

Quando se utilize esta distribuição para modelar os tempos de vida deve evitar-se, por não terem significado, a ocorrência de valores negativos.

2.2.3.1.3 Distribuição Normal

As funções utilizadas neste modelo, para o estudo da fiabilidade, são (Bertsche, 2008):

$$f(t) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(t-\mu)^2}{2\sigma^2}} \quad (2.87)$$

$$F(t) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_0^t e^{-\frac{(\tau-\mu)^2}{2\sigma^2}} d\tau \quad (2.88)$$

$$R(t) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_t^\infty e^{-\frac{(\tau-\mu)^2}{2\sigma^2}} d\tau \quad (2.89)$$

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)} \quad (2.90)$$

Em que t , representa a variável estatística (tempo, ciclos, número de operações, etc.), μ é a média (neste caso a média, a mediana e a moda coincidem) e σ é o desvio padrão.

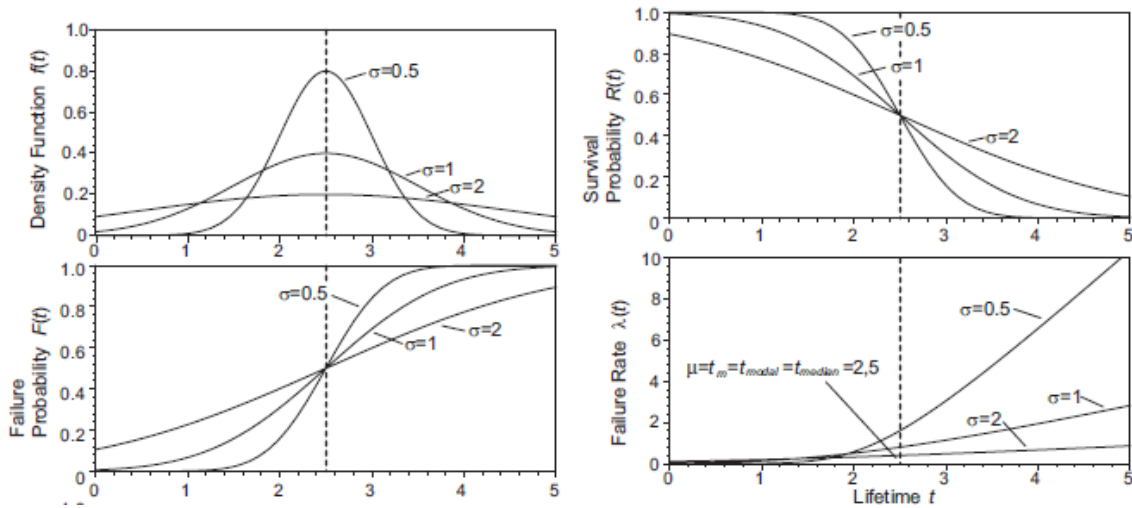


Figura 2-13: Gráficos do modelo Normal⁷.

2.2.3.1.4 Distribuição Log-Normal

A distribuição estatística Logaritmica Normal (Log-Normal) é baseada na distribuição Normal. Nas equações da fiabilidade obtidas no modelo Normal, a variável aleatória t é substituída por $\ln t$. As funções utilizadas neste modelo são as seguintes:

$$f(t) = \frac{1}{t\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(\ln t - \mu)^2}{2\sigma^2}} \quad (2.91)$$

$$F(t) = \int_0^t \frac{1}{\tau\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(\ln \tau - \mu)^2}{2\sigma^2}} d\tau \quad (2.92)$$

$$R(t) = 1 - F(t) \quad (2.93)$$

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)}, \quad (2.94)$$

$$\text{onde } f(t) = \frac{1}{t\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(\ln t - \mu)^2}{2\sigma^2}}, \quad (2.95)$$

representa a função densidade de probabilidade de falha, t , representa a variável estatística (tempo, ciclos, número de operações, etc.), μ é um parâmetro de escala e σ é o desvio padrão.

A distribuição log-normal permite uma maior diversidade nas funções de densidade de probabilidade e dessa forma modelar diversas situações de falha. No entanto, a resolução dos

⁷ Retirado de B. Bertsche (2008)

integrals envolve cálculos muito laboriosos. Este modelo é (ocasionalmente) utilizado para estudar a fiabilidade no âmbito da engenharia mecânica e da engenharia de materiais.

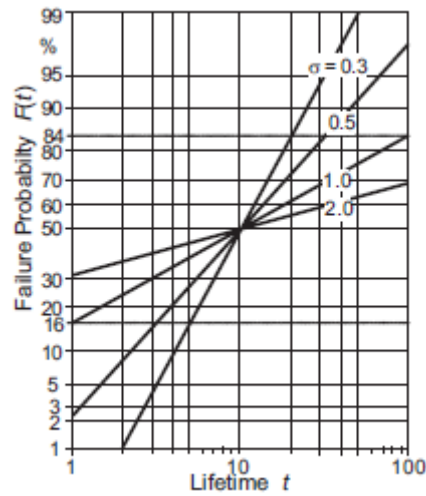


Figura 2-14: Gráfico de F(t) no modelo Log-Normal⁸.

2.2.3.1.5 Distribuição Exponencial

No modelo exponencial a função de risco $h(t)$, toma o valor constante λ .

$$R(t) = e^{-\int_0^t \lambda dt} = e^{-\lambda(t-0)} = e^{-\lambda t} \quad (2.96)$$

$$F(t) = 1 - R(t) = 1 - e^{-\lambda t} \quad (2.97)$$

$$f(t) = F'(t) = \lambda e^{-\lambda t} \text{ para } t \geq 0, \lambda > 0 \quad (2.98)$$

A distribuição exponencial é utilizada em situações onde se possa identificar um processo de Poisson, ou ocorrência de eventos a uma taxa constante, num intervalo de tempo, ou numa região do espaço (Pedrosa & Gama, 2004). A função $f(t) = \lambda e^{-\lambda t}$, (2.99)

pode ser deduzida da função de probabilidade de Poisson $f(x) = \frac{e^{-\lambda t} (\lambda t)^x}{x!}$ para $x = 0, 1, 2, \dots$, e $\lambda > 0$, (2.100)

em que a probabilidade de não ocorrer nenhum evento até ao instante t é :

$$P(X = 0) = \frac{e^{-\lambda t} (\lambda t)^0}{0!} = e^{-\lambda t} \quad (2.101)$$

⁸ Retirado de (Bertsche, 2008)

Se considerarmos T a variável aleatória que representa o instante onde ocorre o primeiro evento de Poisson, temos que $P(X \geq t) = e^{-\lambda t}$ (2.102)

e portanto, $F(t) = 1 - e^{-\lambda t}$ (2.103)

e $f(t) = F'(t) = \lambda e^{-\lambda t}$. (2.104)

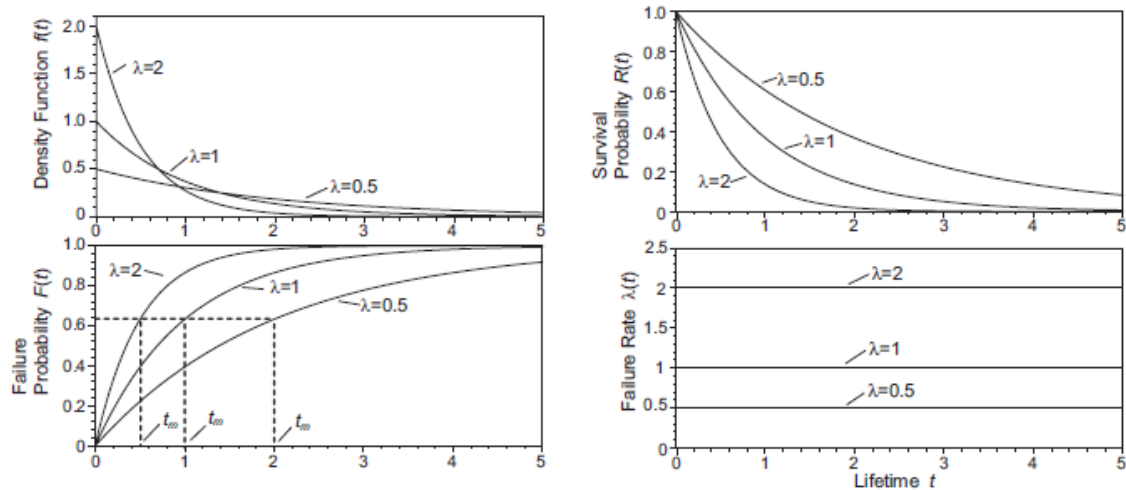


Figura 2-15: Gráficos do modelo exponencial⁹.

Observando os gráficos verifica-se que a função de fiabilidade e a função de densidade de probabilidade de falha, são ambas decrescentes (distribuição exponencial negativa).

Durante a vida útil de um equipamento típico as falhas ocorrem de forma aleatória a uma taxa de avarias tendencialmente constante. Portanto, desde que se verifique a minimização da mortalidade infantil e do período de desgaste, é adequada a utilização do modelo exponencial.

2.2.3.1.6 Distribuição de Weibull

Da autoria de Waloddi Weibull esta distribuição tem-se mostrado muito adequada para estudar a fiabilidade de equipamentos. Trata-se de uma distribuição contínua com três parâmetros característicos (η –vida característica, β –factor de forma e t_0 –vida mínima garantida) e com a seguinte função densidade(Mendonça Dias, 2010c):

⁹ Retirado de B. Bertsche (2008)

$$\begin{cases} f(x) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{x}{\eta}\right)^{\beta-1} e^{-\left(\frac{x-t_0}{\eta}\right)} & \text{se } x \geq 0 \\ f(x) = 0 & \text{se } x < 0 \end{cases} \quad (2.105)$$

Nos casos em que o parâmetro t_0 , é nulo, a função densidade é dada pela expressão:

$$f(x) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{x}{\eta}\right)^{\beta-1} e^{-\left(\frac{x}{\eta}\right)^\beta} \quad (2.106)$$

e a função de fiabilidade por $R(x) = e^{-\left(\frac{x}{\eta}\right)^\beta}$ (2.107)

A função de risco, $h(t) = \frac{f(t)}{R(t)}$, é expressa por: $f(t) = \frac{\beta t^{\beta-1}}{\eta^\beta}$ (2.108)

Para calcular o tempo médio entre falhas MTTF, determina-se a média da distribuição ,

$$E(t) = t_0 + \eta \times \Gamma\left(1 + \frac{1}{\beta}\right) \quad (2.109)$$

utilizando a função Gama $\Gamma(\alpha) = (\alpha - 1)!$ (2.110)

2.3 Manutenção

São desenvolvidos alguns conceitos fundamentais da Manutenção. Após o enquadramento histórico são abordados os tipos e modelos de manutenção. É feita uma especial referência ao TPM, à calibração, à tribologia, aos problemas ambientais e aos indicadores de manutenção.

Conceitos-chave: *Manutenção Correctiva, Manutenção Preventiva, Manutenção Melhorativa, Manutenção Condicionada, Tribologia, Análise de óleo, Lubrificação, Problemas ambientais, Poluição do ar, Estratégia de manutenção, Indicadores de manutenção, Disponibilidade, Calibração, e-Manutenção, TPM, Perdas, OEE, RCM.*

2.3.1 Enquadramento histórico

O progresso industrial depende de vários factores, nomeadamente do investimento em novas instalações, da inovação tecnológica e social, da transferência de tecnologia estrangeira e da utilização eficaz das máquinas e instalações industriais.

Para garantir a operacionalidade dos equipamentos a custos competitivos é necessário um serviço de manutenção devidamente organizado e a funcionar com alto nível de eficácia e eficiência, utilizando os sistemas e os métodos de manutenção, mais actualizados e adequados a cada um dos equipamentos e instalações industriais.

Por manutenção entende-se o conjunto de técnicas que são utilizadas para preservar os equipamentos e instalações industriais, durante o maior tempo possível e com o máximo rendimento.

De acordo com as técnicas e métodos utilizados é possível distinguir diversas fases na evolução histórica da manutenção. No entanto, devido ao desenvolvimento diferenciado dos vários sectores industriais não é possível estabelecer fronteiras claras nas diversas etapas(Fernández, 2005).

Antes dos anos 50, a manutenção era (apenas) correctiva e os seus objectivos eram limitados: limpar e lubrificar os equipamentos e efectuar a sua reparação em caso de avaria. Durante a 2ª Grande Guerra Mundial e no período pós-guerra verifica-se um significativo desenvolvimento da manutenção devido às necessidades militares e nomeadamente às exigências associadas ao desempenho dos aviões e de outros equipamentos militares(León & Gómez, 1998).

É após a segunda guerra mundial que os japoneses precisando de recuperar a sua economia devastada pela guerra e querendo melhorar os seus produtos adoptaram o lema “*sou responsável pelo meu próprio equipamento*”. É também por essa época que o matemático alemão Erich Pieruschka aplica o cálculo das probabilidades à quantificação da fiabilidade num projecto destinado a melhorar a eficácia das bombas V1 e V2, demonstrando que *a probabilidade de sucesso de um sistema é o produto das probabilidades de sucesso de cada um dos componentes*. Dessa forma o número de falhas que poderiam ocorrer em componentes simples eram em número inferior ao dos dispositivos, geralmente mais complexos que eram *inventados* para as reduzir(Solé, 2005) .

A partir dos anos 50 podem-se detectar duas orientações no campo da manutenção industrial. Uma orientação baseada nas técnicas da fiabilidade e outra com origem nos EUA, baseada na aplicação das técnicas da manutenção preventiva. Inicia-se o desenvolvimento da manutenção proactiva com o objectivo de eliminar as causas das avarias e da degradação dos equipamentos(Fitch J. C., 1993).

Para além de procurar uma maior disponibilidade das instalações e uma maior duração e fiabilidade dos equipamentos a manutenção também deverá contribuir para a redução de custos(Fernández, 2005).

Nos anos 70 desenvolveu-se no Japão, a partir da empresa Nippon Denso KK, do grupo Toyota, um novo conceito de manutenção conhecido por Manutenção Produtiva Total (TPM) que pretende otimizar os diversos sistemas de gestão e manutenção e dessa forma minimizar as perdas. Entre outros aspectos distintivos deste tipo de manutenção destaca-se a atribuição de tarefas de manutenção aos operadores de produção. Para além da limpeza frequente da sua zona

de intervenção e da inspecção e vigilância dos equipamentos que operam, também executam tarefas simples (reapertos, lubrificação, mudança de filtros, etc.), que anteriormente eram executadas pelos profissionais de manutenção(Kardec & Nascif, 1999).

Numa visão mais abrangente e num paradigma produtivo orientado para a produção em massa, podemos considerar a Manutenção Produtiva Total como o resultado de duas linhas evolutivas, uma relacionada com a organização da produção e a qualidade (controlo de qualidade, círculos de qualidade e Controlo de Qualidade Total) e outra relacionada com a implementação dos diversos tipos de manutenção(Rodrigues da Silva, 2009).

A partir dos anos 80, constata-se que embora cumprindo as rotinas de manutenção preventiva não se verificam melhorias nos custos, fiabilidade e manutibilidade. Em consequência, são implementados diversos métodos de manutenção com o objectivo de ultrapassar as insuficiências da manutenção preventiva. Por exemplo, entre outros métodos, realizando estudos do ciclo de vida dos equipamentos para comparar diversas opções de manutenção, utilizando as técnicas da manutenção condicionada e dessa forma eliminando muitas intervenções de manutenção desnecessárias. Para além da aplicação de novos métodos e técnicas a nova filosofia de manutenção diferencia-se da anterior por intervir em novas áreas, designadamente, protecção do meio ambiente, segurança e higiene do trabalho, qualidade da manutenção e aplicação de regulamentos(Fernández, 2005).

Actualmente existe algum acordo em caminhar para uma manutenção holística, isto é, uma manutenção integradora das diversas filosofias e técnicas de manutenção, nomeadamente a manutenção baseada na fiabilidade, a manutenção condicionada e a manutenção produtiva total, conforme se sugere na figura 2-16. (Holmberg, Adgar, Arnaiz, Jantunen, Mascolo, & Mekid, 2010).

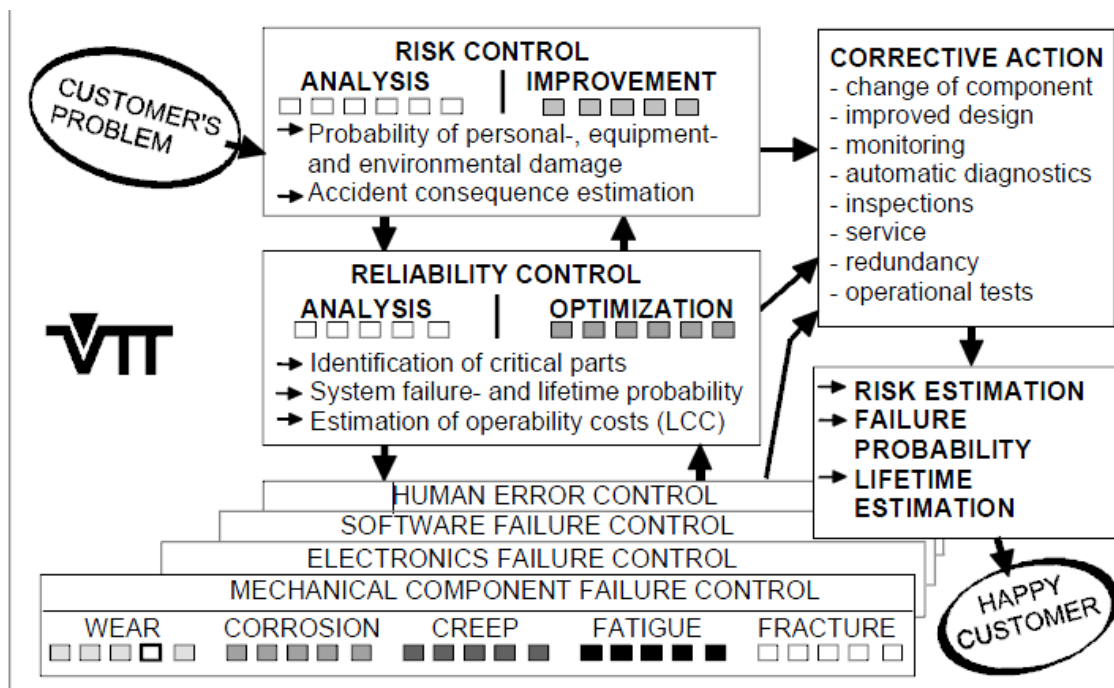


Figura 2-16: Integração holística da manutenção¹⁰

2.3.2 Tipos de Manutenção

Grande parte da terminologia associada à manutenção está contemplada na Norma Europeia EN 13306:2001 que é seguida por grande parte dos países europeus, designadamente Portugal.

Nessa norma entende-se por Manutenção *a combinação de todas as acções técnicas, administrativas e de gestão, durante o ciclo de vida de um bem, destinadas a mantê-lo ou a repô-lo num estado em que possa desempenhar a função requerida* (Cabral J. P., 2009).

De acordo com Luís A. Ferreira citado por Correia Filipe (2006), pode-se afirmar que existem duas atitudes básicas relativamente à manutenção dos equipamentos e instalações. Uma atitude proactiva caracterizada pela existência de acções preventivas planeadas, em alternativa, a uma atitude reactiva, onde predominam as acções correctivas e não planeadas, que ocorrem na sequência de avarias nos equipamentos.

Para assegurar a manutenção dos equipamentos são utilizados diversos tipos ou políticas de manutenção, nomeadamente, a manutenção preventiva que de acordo com a Norma Europeia EN 13306, *é a manutenção efectuada a intervalos de tempo predeterminados ou de acordo com critérios prescritos com a finalidade de reduzir a probabilidade de avaria ou de degradação do funcionamento de um bem*, que se pode subdividir em sistemática e condicionada (Cabral J. S., 2006, p. 6).

¹⁰ Retirado de (Holmberg, Adgar, Arnaiz, Jantunen, Mascolo, & Mekid, 2010, p. 7)

A manutenção correctiva ou curativa é outro tipo de manutenção, muito utilizado e que se pode subdividir em paliativa e em curativa (Cabral J. S., 2006).

Também existe um terceiro tipo básico de manutenção, a manutenção melhorativa, cujo objectivo é o de aumentar a fiabilidade e de reduzir a necessidade de manutenção dos equipamentos (Mobley, 2002).

A selecção da política de manutenção mais adequada para cada equipamento deve ser precedida pela realização de uma avaliação económica que compare os benefícios resultantes de cada uma das opções disponíveis e que sejam possíveis de aplicar. Na selecção do tipo de manutenção são considerados diversos factores, designadamente as características do equipamento e a sua importância no processo produtivo, a sua taxa de avarias, a existência de normativos legais sobre aspectos de manutenção e a possibilidade de substituição seguida de reparação em oficina (Pinto C. V., 2002).

Entretanto, num serviço de manutenção bem organizado pelo menos 90% do trabalho realizado pela manutenção deverá ser aplicado na melhoria da fiabilidade dos equipamentos e os atrasos na produção provocados por avarias não deverão exceder 1% do total de horas da produção (Mobley, 2002, p. 415).

2.3.2.1 Manutenção correctiva

Por manutenção correctiva entende-se, de acordo com a EN 13306, *a manutenção efectuada depois da detecção de uma avaria e destinada a repor o bem num estado em que possa realizar uma função requerida* (Cabral J. S., 2006). É utilizada a manutenção correctiva na desmanagem de equipamentos, após uma avaria inesperada. Quando a intervenção se limitou a uma reparação superficial dizemos que se tratou de manutenção paliativa. Será manutenção correctiva se foram eliminadas as causas da avaria e o equipamento foi colocado em condições normais de funcionamento.

Este tipo de manutenção, de acordo com Luís A. Ferreira citado por Correia Filipe (2006), tem o inconveniente de provocar perdas de produção, de tornar as reparações mais dispendiosas, de aumentar a indisponibilidade dos equipamentos e de provocar oscilações nas necessidades de mão de obra.

A manutenção correctiva de um equipamento, envolve a realização de um conjunto diversificado de tarefas, designadamente, o reconhecimento e a localização da avaria, o diagnóstico, a reparação e a realização de ensaios. Para além do tempo de espera após a avaria e

do tempo gasto na reparação também são relevantes os tempos gastos nas actividades administrativas e logísticas(Dhillon, 2002).

A redução do tempo gasto nas tarefas de manutenção correctiva é uma prioridade de qualquer gestor de manutenção e pode ser conseguida através de uma maior eficiência na identificação e localização da avaria, standardização dos equipamentos e componentes, existência de sistemas e equipamentos redundantes e acesso fácil aos componentes e equipamentos, entre outros factores(Dhillon, 2002).

Pode justificar-se a opção pela manutenção correctiva, de acordo com Luís A. Ferreira citado por Correia Filipe (2006), quando da avaria do equipamento não decorrem custos relevantes, a produção não é afectada e não são criados problemas de segurança para os trabalhadores e para o meio ambiente.

2.3.2.2 Manutenção preventiva sistemática

A manutenção preventiva sistemática, de acordo com a Norma Europeia, *é a manutenção preventiva executada a intervalos de tempo preestabelecidos ou segundo um número definido de unidades de funcionamento, sem controlo prévio do estado do bem*(Cabral J. S., 2006, p. 7) e tem por objectivo reduzir a ocorrência das avarias devido a desgaste, envelhecimento, corrosão e contaminação e minimizar as perdas de produção e evitar os efeitos nocivos, na qualidade dos produtos, que podem ser ocasionados por esses factores.

No âmbito da manutenção preventiva as tarefas são realizadas em intervalos regulares de tempo ou de acordo com os valores das variáveis de controlo que foram definidas (horas de serviço, número de ciclos/movimentos, etc.) e com um programa que estabeleça as tarefas a desenvolver (Farinha, 2011).

Em geral, a manutenção preventiva sistemática integra diferentes tipos de tarefas: rotinas de inspecções, actividades de beneficiação, designadamente, limpezas, lubrificações e reapertos, entre outras, calibração de instrumentos, verificação do funcionamento de componentes e equipamentos, ajustamentos e substituição de elementos em fim de vida ou que estejam em estado de degradação(Dhillon, 2002).

Também se integra neste tipo de manutenção as tarefas de recondicionamento dos equipamentos, com beneficiação e substituição das peças e componentes no final da vida útil(Bertsche, 2008).

A manutenção preventiva sistemática, de acordo com Luís A. Ferreira citado por Correia Filipe (2006), é aplicada a equipamentos cujas avarias estejam associadas a elevados custos (directos

e/ou indirectos), coloquem em risco a segurança de pessoas, possam provocar paragens de produção significativas e problemas ambientais.

A manutenção preventiva aumenta a disponibilidade dos equipamentos e instalações, permite uma melhor gestão da mão-de-obra disponível, reduz a necessidade de peças de reserva em armazém, melhora as condições de higiene e segurança no trabalho, permite a standardização de procedimentos e redução de custos(Mobley, 2002).

A manutenção preventiva sistemática tem algumas desvantagens, designadamente, o aumento de custos na fase inicial, a possibilidade de reparar equipamentos que se encontram em boas condições de funcionamento, e o risco de danificar peças ou componentes de equipamentos durante a desmontagem e nas fases subsequentes da reparação(Mobley, 2002).

Nas empresas de processo contínuo, a paragem (não prevista) de uma instalação produtiva, provoca elevados prejuízos e pode comprometer o cumprimento dos prazos de entrega. Dessa forma, a intervenção nos equipamentos deverá ser efectuada nos períodos destinados para esse efeito. A definição da paragem dos equipamentos para a manutenção é efectuada em comum acordo, entre os responsáveis da produção e da manutenção, tendo em atenção o cumprimento dos compromissos da empresa. Estabelecido o calendário da intervenção, os serviços de manutenção efectuem a preparação das actividades a realizar nesse período. Os técnicos de manutenção efectuem os contactos necessários para a aquisição das peças de reserva e para a adjudicação dos trabalhos e programam as actividades de manutenção.

2.3.3 Manutenção condicionada

A manutenção condicionada, de acordo com a Norma Europeia, *é a manutenção preventiva baseada na vigilância do funcionamento do bem e/ou dos parâmetros significativos desse funcionamento, integrando as acções daí decorrentes*(Cabral J. S., 2006, p. 7). Pode ser considerada um caso particular de manutenção preventiva e permite evitar as despesas associadas à reparação de equipamentos que ainda se encontram em boas condições de funcionamento. As várias técnicas de manutenção condicionada (análise de óleos, termografia, análise de vibrações, inspecção por ultra-sons/partículas magnéticas/líquidos penetrantes, controlo de variáveis do processo produtivo, entre outras) possibilitam a monitorização do estado dos equipamentos e o cálculo do melhor momento de intervenção no equipamento(Torres, 2005).

Para avançar com a manutenção condicionada é necessário identificar os equipamentos a abranger, adquirir aparelhos de controlo, elaborar fichas de inspecção e dar formação aos empregados.

A implementação de um programa de manutenção condicionada deve ser cuidadosamente estudada e envolve diversas etapas, designadamente, a identificação e avaliação da instalação e dos equipamentos, a selecção das técnicas de diagnóstico e dos correspondentes sensores, a definição dos níveis de referência a utilizar, a elaboração de fichas de inspecção e a formação do pessoal envolvido. Tendo em atenção a multiplicidade de causas envolvidas na degradação de um equipamento é geralmente necessário considerar diversas técnicas para monitorizar um mesmo equipamento(Farina, 2011).

Definida a variável que vai ser controlada é necessário efectuar medições rigorosas e correlacionar os valores obtidos com os estados reais do equipamento de forma a poder estabelecer níveis de referência e os limites de alarme. Com base nos dados e recorrendo à análise estatística e aos algoritmos de previsão adequados é possível efectuar previsões de avarias com razoável qualidade(Farina, 2011).

Na tabela abaixo estão indicadas diversas técnicas de diagnóstico utilizadas na manutenção condicionada, embora algumas se destaquem pela sua maior utilização, designadamente, controlo vibrométrico, monitorização dos parâmetros processuais, termografia, análise de óleos e inspecção visual(Mobley, Maintenance Fundamentals, 2004).

Tabela 2-5: Técnicas de diagnóstico mais utilizadas¹¹

Variável a controlar	Técnica de diagnóstico	Instalação ou equipamento
Vibrações	Medição de vibrações Impulsos de choque Análise de frequências	Máquinas rotativas
Viscosidade, partículas e degradação do lubrificante	Monitorização da cor Oxidação Análise espectroquímica	Redutores, Motores, Compressores, Bombas, Transformadores, Equip.pesados/guindastes
Temperatura	Termografia	Sistemas térmicos, eléctricos e electrónicos
Valor óhmico e capacidade	Medida de resistência	Motores eléctricos
Fugas	Detector de ultra-sons	Depósitos e tubagens

¹¹ Adaptado de (Fernández, 2005)

	Detector de fissuras Detector de Vazamento de Gás Halogéneo	
Fissuras	Líquidos penetrantes	Estruturas metálicas
Ruídos	Estetoscópio Radioscópio	Máquinas rotativas
Corrosão	Ultra-sons, Radioscópio Magnetoscópio	Tubagens
Obstruções	Radioscópio Indicador de pressão	Tubagens, válvulas, reservatórios
Deformações	Escalas, Indicadores de nível, Teodolitos	Tubagens

Para efectuar a gestão das intervenções e registo dos dados é necessário dispor de um adequado programa informático e uma adequada nomenclatura dos equipamentos e instalações. Para concretizar esse objectivo (nomenclatura) é necessário decompor todas as unidades produtivas e atribuir um código a todos os equipamentos e peças de reserva (rotáveis) que podem ser objecto de acções de inspecções, nomeadamente, verificação visual/medição vibrométrica, análise de óleos, entre outras(Cabral J. P., 2009).

Após esse trabalho inicial e na sequência de formação adequada aos diversos intervenientes é possível iniciar o programa de manutenção condicionada. É necessário programar reuniões periódicas para resolver eventuais problemas de motivação do pessoal , dificuldades com o manuseamento dos equipamentos, interpretação das ordens de trabalho, etc.

Após a identificação de equipamentos com situações anómalas é tomada uma decisão sobre a medida a tomar. Também se procede à investigação das causas de avarias, designadamente, quando se trate de equipamentos fundamentais para o processo produtivo.

O controlo vibrométrico é um dos métodos mais utilizados para monitorizar a condição dos equipamentos rotativos. Em geral, é suficiente o controlo do nível global de vibrações para identificar o estado geral do equipamento. Para os equipamentos com um nível global acima dos níveis de alerta e cuja importância no processo produtivo o justifique, pode realizar-se uma análise de frequências para identificar a origem da anomalia.

Face à elevada incidência de problemas de desalinhamento e de desequilíbrio é necessário definir procedimentos para a correcção dessas situações. Por exemplo em indústrias de laboração contínua (Na indústria siderúrgica, cimenteiras, etc.) os ventiladores e exaustores são equipamentos que pela sua dimensão e impacto no processo produtivo requerem uma vigilância permanente. Devido ao contacto com substâncias abrasivas estão sujeitos a desgastes nas pás que estão na origem de elevados níveis vibratórios impeditivas do seu funcionamento(Piotrowski, 2006).

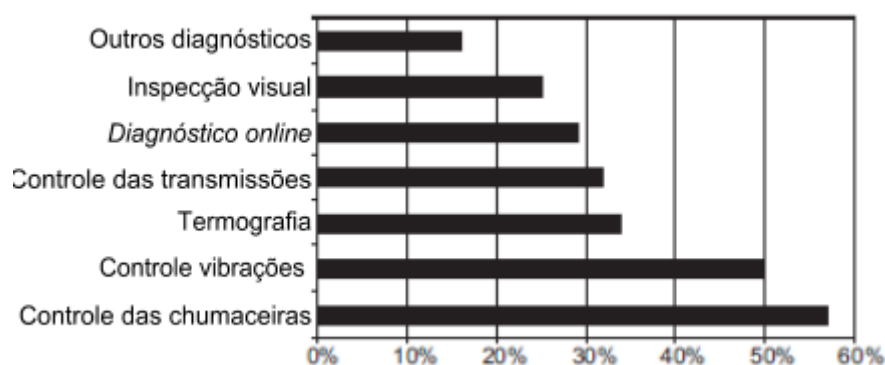


Figura 2-17: Procedimentos de Manutenção Condicionada mais utilizados¹²

O sucesso destas intervenções depende de formação adequada, dos operadores de produção e técnicos de manutenção, para as tarefas que lhes são solicitadas. Muitas vezes essa formação é pontual, não tendo a profundidade e abrangência que é requerida. Também é necessário que a frequência das acções de formação tenha impacto na progressão dos trabalhadores.

Os procedimentos de controlo da condição dos equipamentos requerem um, significativo investimento inicial na aquisição de instrumentos de controlo, de preparação dos equipamentos, definição de alertas e preparação do pessoal e uma grande quantidade de trabalho de recolha de dados e de avaliação da curva de tendência. No entanto, a opção por este tipo de manutenção permite baixar consideravelmente os custos de manutenção, sem diminuir a segurança ou a fiabilidade do equipamento.

2.3.4 Tribologia

O conceito de tribologia é relativamente recente e designa a ciência que estuda o atrito, a lubrificação e o desgaste, podendo definir-se como “*a ciência e tecnologia de superfícies actuantes em movimento relativo e todos os fenómenos daí decorrentes*” (Carreteiro & Belmiro, 2006, p. 416)

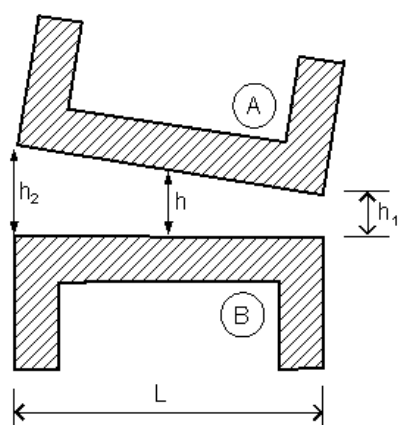
A Tribologia é uma ciência interdisciplinar, que integra os contributos de várias disciplinas, designadamente, da Engenharia Mecânica, Física, Metalurgia e Química e os seus resultados têm consequências importantes para a actividade de manutenção, entre outras. De facto, o desgaste e a fadiga constituem uma importante causa de degradação dos equipamentos mecânicos nas diversas actividades industriais, nomeadamente na indústria de construção de

¹² Adaptado de B. Bertsche (2008)

máquinas onde cerca de 95% dos mecanismos e órgãos de máquinas, são colocados fora de serviço devido a problemas de desgaste e fadiga(Pérez, 2002).

Para que duas superfícies possam deslizar suavemente, uma sobre a outra, é necessário que exista uma determinada espessura de película de fluido a separá-las. É essa película de lubrificante que, a partir da velocidade relativa das duas superfícies e da sua geometria, vai gerar a pressão necessária à separação das duas superfícies, formando uma cunha lubrificante que garante a continuidade da lubrificação que vai permitir a lubrificação hidrodinâmica do conjunto moente /chumaceira (Fernández, 2005).

Dados dois sólidos A e B, com movimento entre eles, sendo L o comprimento da linha de contacto, muito superior à altura h de separação, o caudal de lubrificante é dado pela seguinte fórmula(Fernández, 2005):



Fórmula

$$q = \frac{P_e \times h^3}{12 \times \mu} + \frac{u \times h}{2} \quad (2.111)$$

Legenda

P_e : Pressão

h : Altura de separação

u : Velocidade do fluido

μ : Viscosidade

Figura 2-18: Conjunto moente/chumaceira

Para além de separar as duas superfícies em movimento e de minimizar o atrito e o desgaste, o óleo lubrificante assegura outras funções, designadamente, a refrigeração, a protecção contra a corrosão, a suspensão das partículas, a neutralização dos ácidos, a protecção contra contaminantes e a transmissão de potência no caso dos circuitos hidráulicos(Cabral J. S., 2006).

Para além da lubrificação hidrodinâmica podemos ter lubrificação hidrostática, lubrificação elasto-hidrodinâmica, lubrificação imperfeita boundary lubrication e lubrificação por partículas sólidas. Na lubrificação hidrostática o lubrificante é introduzido entre as duas superfícies a uma pressão que permita a formação da película lubrificante. A lubrificação elasto-hidrodinâmica é parecida com a hidrodinâmica, sendo a diferença no tipo de contacto, que neste caso é de rolamento.

A lubrificação é afectada por diversos factores, nomeadamente, a velocidade, a temperatura e a carga, que, para valores limite, podem provocar uma lubrificação imperfeita, com rotura da

película e contacto intermetálico. Para cargas e temperaturas muito elevadas pode ser utilizada a lubrificação por partículas sólidas com a utilização de grafite e de bissulfureto de molibdénio, entre outros materiais.

O lubrificante deverá substituir-se quando ocorra o seu “envelhecimento”, ou a alteração das suas características físicas e químicas. A viscosidade é uma das propriedades mais importantes do lubrificante e pode ser interpretada como traduzindo a resistência ao deslocamento das diversas camadas de moléculas que o constituem ou a medida da sua resistência ao corte.

Como a viscosidade varia com a temperatura é necessário indicar a temperatura do óleo no momento em que foi medida a viscosidade. Nas tabelas de classificação dos óleos de acordo com a respectiva viscosidade é habitual apresentar os valores obtidos às temperaturas de 40 °C e de 100 °C. Existem diversas classificações de viscosidades para óleos lubrificantes, com os diferentes graus de viscosidade e os valores da viscosidade a baixas e a altas temperaturas, nomeadamente os seguintes sistemas de classificação: ISO para óleos industriais, SAE J300 para óleos de motor, SAE J306 para lubrificantes de transmissões manuais e diferenciais e AGMA para óleos lubrificantes (Texaco, 2005).

De acordo com o processo de medida, a viscosidade, de peso específico ρ , pode ser expressa através de diferentes escalas, designadamente, através da viscosidade cinemática (V_{cin}), em mm^2/s ou pela viscosidade absoluta (V_{abs}), em mPa/s . Estas grandezas estão relacionadas pela fórmula: $V_{cin} = \frac{V_{abs}}{\rho}$. (2.112)

A realização de análises periódicas, com recolha de amostras de óleo, permite assegurar que o óleo se encontra em condições de proporcionar uma adequada lubrificação e é uma componente vital do plano de manutenção de qualquer equipamento crítico (Cabral J. S., 2006, p. 185).

De acordo com Ronald Carreteiro e Pedro Belmiro (Carreteiro & Belmiro, 2006) e (Cabral J. S., 2006), a análise dos lubrificantes que se encontram ao serviço, envolve a realização de diversos testes:

Tabela 2-6: Análise de óleos - Tipos de testes

Tipo de Teste	Designação	Interpretação
Densidade	É importante no cálculo de caudais e consumos. É o peso no vácuo do volume unitário de material na temperatura estabelecida	Um aumento pode indicar a presença de insolúveis, água, produtos oxidados ou com maior densidade.
Viscosidade	A viscosidade de um óleo é inversamente proporcional à sua fluidez. Pode ser	Um aumento pode indicar a presença de insolúveis, produtos oxidados, água, produtos oxidados

	caracterizada pela viscosidade absoluta ou dinâmica ou pela viscosidade cinemática.	ou reposição com óleo de maior viscosidade. Uma diminuição pode indicar a presença de combustível, reposição com óleo menos viscoso ou <i>cracking</i> térmico.
Índice de viscosidade	Caracteriza a variação da viscosidade com a temperatura. Quanto maior o índice de viscosidade, menor será a variação da viscosidade entre duas temperaturas.	A alteração do Índice de Viscosidade (IV) é uma indicação de reposição com óleo de índice de viscosidade diferente ou de cisalhamento do aditivo melhorador do IV.
Ponto de fulgor	É a menor temperatura na qual os os vapores do óleo se inflamam na presença de uma chama.	O ponto de fulgor diminui com a diluição de combustível no óleo.
Cor	Os óleos lubrificantes têm diversas cores, desde transparentes (incolors) até pretos (opacos).	Um escurecimento do óleo pode ser devido a produtos oxidados ou a contaminação por óleo mais escuro. O clareamento pode indicar contaminação por óleo mais claro ou presença de água.
Índice de acidez (concentração de compostos ácidos no lubrificante). Índice de alcalinidade (quantidade de ácido que é necessário para neutralizar os compostos alcalinos)	Permite avaliar o grau de acidez ou de alcalinidade do óleo.	Podemos ter: Número de acidez total (TAN – <i>Total Acid Number</i>), número de acidez forte (SAN – <i>Strong Acid Number</i>), número de alcalinidade total (TBN – <i>Total Base Number</i>) e número de alcalinidade forte (SBN – <i>Strong Base Number</i>). Um aumento brusco e acentuado do TAN e do SAN pode indicar ataque químico do lubrificante por contaminação com substâncias externas.
Água	A água no óleo é sempre indesejável. A quantificação da água deve ser efectuada para evitar problemas de lubrificação, corrosão e ferrugem.	Considera-se 0,2% como o limite máximo de água no óleo. A análise à água pode indicar a origem da contaminação.
Partículas insolúveis	De acordo com a matéria a dissolver pode ser utilizado o Pentano, o Hexano ou o Tolueno.	Os valores de insolúveis dependem das características do óleo (e dos solventes). Não existem valores limite prefixados para os diversos tipos de óleo.
Sedimentos		Uma percentagem superior a 0,05% pode indicar oxidação acentuada ou presença de partículas metálicas. Se os sedimentos forem solúveis em clorofórmio podem indicar a presença de produtos oxidados.
Cinzas	São constituídas por partículas	Uma diminuição de cinzas,

	metálicas, ferrugem, poeira e outros produtos oxidados.	relativamente ao óleo novo, pode indicar uma diluição exagerada de combustível, contaminação por óleo não detergente ou por óleo com menor concentração de aditivos metálicos. Um aumento pode indicar uma contaminação por óleo de maior detergência ou de maior concentração de aditivos metálicos.
Demulsibilidade	Indica a capacidade que o óleo tem de se separar da água.	Uma alteração da demulsibilidade é, geralmente, devida à degradação de aditivos

Embora os ensaios físico-químicos variem de acordo com o tipo e aplicação do lubrificante e as características dos equipamentos, existe um conjunto de análises *standard*, que são geralmente efectuadas: viscosidade a 40° C, partículas insolúveis superiores a 5 μ m, presença de água, índice de acidez e produtos de oxidação.

Nos sistemas hidráulicos, é aconselhável uma análise por espectrometria para identificar as quantidades e características dos contaminantes (Ferro, Cobre, Chumbo, Alumínio, Cromo, Níquel e Silício) existentes no óleo. Os parâmetros a analisar, nos sistemas hidráulicos, também incluem a viscosidade cinemática, o conteúdo de água, o TAN, a oxidação e o número de partículas. A representação gráfica dos valores encontrados, ao longo do tempo, permitirá comparar os resultados encontrados com os limites de referência e analisar as tendências.

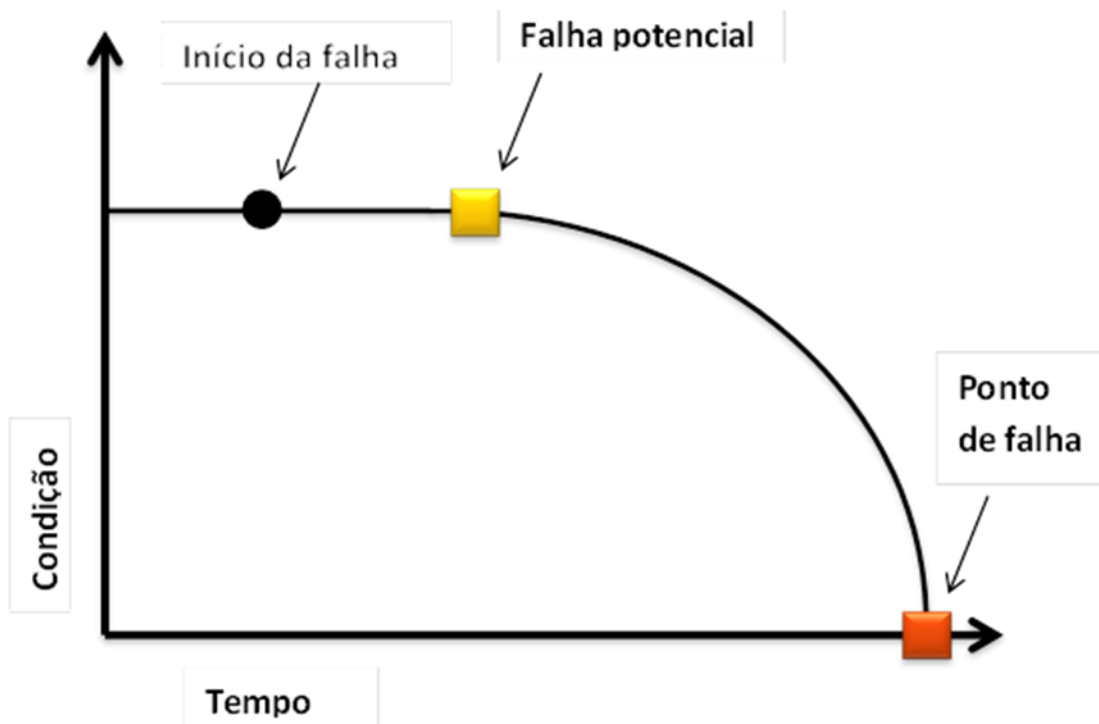


Figura 2-19: Evolução da falha. Falha potencial

Sabendo que a presença de contaminantes no óleo é responsável por cerca de 80% das avarias de sistemas hidráulicos, o controlo qualitativo e quantitativo dos contaminantes presentes no óleo e a realização das adequadas acções de manutenção pode prolongar, de forma significativa a vida útil, dos equipamentos hidráulicos e evitar a ocorrência de avarias(Altmann, 2005).

No caso dos motores diesel é aconselhável uma análise por espectrometria para identificar as quantidades e características dos contaminantes (Ferro, Cobre, Chumbo, Alumínio, Cromo, Estanho, Sódio e Silício) e cinzas, existentes no óleo(Fitch J. , 2007). Os parâmetros a analisar, nos motores diesel, também incluem a viscosidade cinemática, o conteúdo de água, a medição do TBN, a diluição de combustível e a diluição por Glicol(Altmann, 2005).

Para além da espectrometria também se utiliza a ferrografia na análise das partículas de desgaste que se encontram em suspensão no lubrificante. Na análise ferrográfica as partículas podem ser caracterizadas de acordo com vários aspectos, designadamente, dimensões, morfologia, tipo de bordos, tipo de superfície, cor e estrutura cristalina(Cabral J. S., 2006).

Através da análise de óleos e após a identificação das partículas em suspensão é possível fazer um diagnóstico sobre o estado do equipamento e sobre a eventual necessidade de mudar o óleo.

Um dos factores críticos, para o estado dos equipamentos, está na contaminação do óleo com poeiras, que pode provocar efeitos catastróficos na *performance* dos equipamentos(Sotreq, 2004).

2.3.4.1 Organização da lubrificação

Face à importância da lubrificação para o bom funcionamento dos equipamentos é necessário assegurar que ela é efectuada de acordo com as indicações dos fabricantes dos equipamentos e respectivo manual de manutenção.

Para isso a melhor solução consiste na implementação de um sistema organizado (e informatizado) de gestão da lubrificação. Este tipo de solução já existente em muitas (médias e grandes) empresas também possibilita a redução de custos e um aumento de eficácia.

Na concepção e implementação de um sistema organizado de lubrificação é necessário considerar diversos aspectos, designadamente, definir um número mínimo de lubrificantes, estabelecer procedimentos de armazenamento, manuseio e distribuição, efectuar a codificação e identificação dos equipamentos e dos lubrificantes e definir um sistema de controlo de serviços de lubrificação e de consumos de óleos lubrificantes (Carreteiro & Belmiro, 2006, p. 455).

O levantamento dos equipamentos inclui a elaboração de uma nomenclatura, a codificação dos equipamentos e a definição dos pontos a serem lubrificados, com a elaboração de uma ficha que inclua todos os dados relevantes, designadamente, identificação do equipamento, partes a lubrificar, número de pontos, capacidade dos depósitos, frequência de aplicação e lubrificantes aconselhados (Carreteiro & Belmiro, 2006, p. 456).

Na programação das tarefas de lubrificação devem ser consideradas as tarefas que podem ser atribuídas aos operadores de produção. Para os restantes trabalhos de lubrificação a serem desempenhados por pessoal especializado é necessário contabilizar o quantitativo de horas necessárias para efectuar as tarefas. Para isso é preciso listar todas as tarefas, definir as respectivas periodicidades, elaborar os percursos, calcular as distâncias a percorrer e os tempos de lubrificação (Carreteiro & Belmiro, 2006).

É indispensável a existência de um sistema de controlo das existências de lubrificante em stock, com registos das entradas e saídas. Da mesma forma deve existir um sistema de controlo do consumo diário de lubrificante, por lubrificador, secção e tipo de produto e um sistema equivalente de controlo anual do lubrificante consumido. Também é importante a codificação e classificação dos lubrificantes de forma a facilitar a sua identificação e aplicação (Carreteiro & Belmiro, 2006, p. 457).

Da mesma forma a concepção e implementação de um programa de análise de óleos permite complementar os programas de manutenção. De facto, as informações obtidas através das análises, permitem a monitorização do lubrificante, do mecanismo lubrificado e da

operacionalidade do equipamento. O tratamento desses dados é de grande utilidade para gestão da manutenção pois possibilita a detecção prematura de falhas e o acompanhamento do estado do lubrificante(Carreteiro & Belmiro, 2006, p. 459).

Entretanto, a concepção e a implementação de um programa de análise de óleos baseado na recolha periódica de amostras envolve a formação e a preparação de todo o pessoal envolvido, o acesso a recursos laboratoriais e um conjunto diversificado de actividades tarefas, designadamente, diagnóstico da situação actual, definição do programa e do tipo de análises a efectuar, planeamento e programação, articulação entre a lubrificação e a manutenção e produção, reciclagem dos óleos e informatização dos procedimentos(Carreteiro & Belmiro, 2006, pp. 456-464).

Em geral, é preferível o estabelecimento de uma parceria com uma Companhia fornecedora de óleos, em modalidades a definir, para a realização de um programa de análise de óleos e de outras tarefas associadas à lubrificação.

2.3.5 Problemas ambientais

Diversos problemas ambientais relacionados com a contaminação dos solos e a poluição do ar, por exemplo, estão associados ao deficiente funcionamento dos equipamentos e das instalações industriais e portanto, é da responsabilidade da manutenção, evitar ou minimizar a sua ocorrência. Para além de pugnar pelo cumprimento das normas existentes, sobre a protecção do ambiente, a manutenção deve ter estratégias, orientações e políticas de manutenção para combater a contaminação do ar e dos solos e para manter operacionais os materiais e as peças de reserva dos equipamentos críticos.

2.3.5.1 Reciclagem de óleos

Nas empresas industriais é geralmente elevado o número e volume de lubrificantes que são necessários para garantir a lubrificação dos equipamentos e dos sistemas hidráulicos associados à laboração das diversas unidades industriais. Nas grandes instalações onde são movimentadas elevadas grandes quantidades de óleo, podem ocorrer problemas ambientais significativos, devido aos derrames de óleo, provocados por fugas nos equipamentos e por vazamentos ilegais, entre outras situações.

Embora a legislação defina normas sobre o tratamento a dar aos óleos usados ainda são frequentes os despejos ilegais de óleo, designadamente, através dos ralos e esgotos da rede pública, espalhamento sobre o solo, queima ao ar livre e despejo nos rios, lagoas e mares.

Os óleos lubrificantes representam cerca de 2% dos derivados de petróleo e contrariamente aos restantes produtos (derivados do petróleo) não são consumidos durante a sua utilização, o que coloca problemas sobre o destino que lhes deve ser dado, no final da sua vida útil, acresce que contêm aditivos e metais (chumbo, cromo, bário e cádmio) altamente nocivos para o ambiente(Gomes, Pereira de Oliveira, & Nascimento, 2008).

Os normativos classificam os óleos lubrificantes como resíduos perigosos de classe I por apresentarem toxicidade e outras características prejudiciais para a saúde pública e recomendam a reciclagem do óleo usado. No entanto, apenas uma pequena parte tem esse destino. Por exemplo, no Brasil, de acordo com os últimos dados, apenas cerca 24% do óleo lubrificante é recolhido para reciclagem(Gomes, Pereira de Oliveira, & Nascimento, 2008).

O destino inadequado do óleo lubrificante tem importantes impactos de saúde pública, ambientais e económicos, designadamente, risco de problemas respiratórios e cancro provocados pelo fumo libertado na queima dos óleos, aumento da carga de poluentes dos rios e consequentes prejuízos para a fauna e flora e contaminação da água potável(Gomes, Pereira de Oliveira, & Nascimento, 2008).

A reciclagem do óleo lubrificante consiste num conjunto de tratamentos específicos que vai permitir a sua posterior reutilização. A reciclagem pode ser efectuada utilizando processos físicos, designadamente, sedimentação, filtração, centrifugação, desgasificação, desidratação, destilação e extracção por solvente. A reciclagem do óleo também pode ser efectuada por processos químicos: acidulações, neutralização e hidroacabamentos (Carreteiro & Belmiro, 2006, p. 467).

Também existem procedimentos de reciclagem envolvendo um conjunto complexo e diversificado de tratamentos físicos e químicos, para determinadas classes de óleos, designadamente para óleos, hidráulicos, de turbina, de corte, isolantes, de utilização em automóveis e para fluidos sintéticos resistentes ao calor(Carreteiro & Belmiro, 2006, p. 467).

2.3.5.2 Poluição do ar

Para assegurar a redução das emissões poluentes e o cumprimento das normas existentes, sobre a poluição atmosférica, compete à manutenção, a definição das adequadas estratégias e políticas de manutenção dos equipamentos e instalações, que minimizem a poluição do ar, entendendo-se que:

“a poluição do ar significa a presença nas atmosferas exteriores de um ou mais contaminantes, ou a sua contaminação, em quantidades ou com

uma duração tal que possam vir a ser considerados nocivos para a vida humana, vegetal, animal ou bens. Os contaminantes do ar incluem fumos, vapores, cinzas de papel, poeiras, fuligem, fumos carbonosos, gases, névoas, material radioactivo ou produtos químicos tóxicos”(Gomes J. , 2010, p. 41)

Os contaminantes do ar têm origem em causas naturais associadas a vulcões, incêndios florestais e poeiras de desertos e em causas artificiais: funcionamento das fábricas, centrais térmicas e veículos motorizados. Prejudicam a saúde humana afectando os sistemas respiratório e cardiovascular e têm efeitos negativos no ambiente, designadamente, acidificação da atmosfera e chuvas ácidas, redução da visibilidade e luminosidade, destilação global, efeito de estufa e redução da camada de ozono(Gomes J. , 2010).

As várias fontes de poluição contaminam a atmosfera com diversos tipos de poluentes, de que se destacam os seguintes: óxidos de enxofre, óxidos de azoto, monóxido de carbono, compostos orgânicos voláteis, dioxinas e dibenzofuranos e partículas finas de diâmetro equivalente inferior a $10\ \mu m$. As dioxinas e dibenzofuranos são subprodutos indesejáveis associados à produção industrial e ao funcionamento das incineradoras de resíduos sólidos urbanos e em conjunto com os restantes poluentes podem afectar gravemente a saúde pública(Gomes J. , 2010)

Para minimizar a descarga de poluentes na atmosfera são utilizadas diversas tecnologias: ciclones de poeiras, precipitador electrostático, filtros de carvão activado, conversor catalítico e biofiltros(Wikipédia, 2011). A todos estes equipamentos estão geralmente associados sistemas de regulação e de controlo que requerem a definição de planos de manutenção que incluam a verificação e a calibração periódica dos instrumentos de medida(Gomes J. , 2010).

2.3.5.3 Equipamentos e materiais de reserva

Os materiais e equipamentos de reserva específicos da manutenção deverão ser acompanhados pela manutenção, no que se refere à recepção, verificação da conformidade com as especificações e cuidados a ter na movimentação e no armazenamento.

Verifica-se que algumas falhas prematuras de equipamentos e materiais, ocorrem quando os materiais ainda se encontram aprovisionados em armazém. De facto, as condições ambientais em que os materiais se encontram armazenados, podem proporcionar condições para a sua falha prematura, mesmo antes de serem aplicados. Por exemplo, a composição da atmosfera, tem uma grande influência no desenvolvimento da corrosão, designadamente a humidade relativa, poluentes existentes, gases e partículas sólidas em suspensão. O controlo da humidade e a filtragem do ar são medidas que contribuem para a redução da velocidade de corrosão. Para

manter os materiais protegidos contra a corrosão é necessário aplicar-lhes uma parcela suplementar de energia, através da utilização de revestimentos protectores, inibidores de corrosão ou de protecção catódica e anódica(Donato, 2011).

Para além das falhas com origem num deficiente projecto (e/ou fabricação), manuseio e movimentação inadequada, corrosão, um grande número de falhas prematuras estão relacionadas com a ocorrência de fracturas, devido a defeitos estruturais, deficiente movimentação com ocorrência de impactos, etc. Entre outras causas, o armazenamento deficiente dos materiais metálicos pode favorecer a concentração de esforços específicos em determinados pontos e favorecer a ocorrência de fracturas por fadiga, ou corrosão-fadiga(Donato, 2011).

2.3.6 Manutenção Produtiva Total

A Manutenção Produtiva Total conhecida pela sigla TPM (Total Productive Maintenance), tem por objectivo aumentar a produtividade industrial através da melhoria da estrutura empresarial e da participação de todos os empregados da empresa na resolução dos problemas de manutenção. É sublinhada a necessidade de uma administração correcta dos recursos humanos e da melhoria das suas competências, entre outros aspectos (Tavares, 1999).

A manutenção produtiva total teve origem no Japão em 1951 associada à introdução da manutenção preventiva numa das fábricas do grupo Toyota (Nippon Denso). Com a automatização da fábrica foi tomada a opção de encarregar os operadores de produção de algumas tarefas de manutenção. O pessoal de manutenção pode dedicar-se à melhoria da fiabilidade e à introdução de melhorias nos equipamentos (manutenção de melhoria) com o objectivo de melhorar a sua eficácia. A articulação destes dois conceitos e o ênfase na participação dos trabalhadores está na origem da Manutenção Produtiva Total.

Para além dos benefícios directos [melhoria do OEE, redução das reclamações dos clientes, redução do custo de produção, cumprimento de prazos e especificações, redução do número de sinistros, aumento da qualificação dos trabalhadores (polivalência)], também são alcançados significativos benefícios indirectos, designadamente, aumento do nível de confiança dos trabalhadores, melhoria do ambiente de trabalho, desenvolvimento do trabalho colaborativo e em equipa e maior responsabilização pelo estado dos equipamentos.

A implementação da Manutenção Produtiva Total, é uma prioridade na generalidade das empresas industriais, devido aos benefícios decorrentes da melhoria da produtividade. Também é uma das etapas, juntamente com a criação de círculos de qualidade e a certificação, no

processo de implementação e desenvolvimento da Qualidade Total(Mendonça Dias, 2002, p. 83). Nesse âmbito, têm sido premiadas diversas empresas devido aos ótimos resultados obtidos com a implementação do TPM(Carrijo & Lima, 2008).

Pais	Premiadas 2005	Premiadas 2007	Pais	Premiadas 2005	Premiadas 2007
India	30	20	Malasia	0	1
França	12	9	Polonia	0	1
Turquia	5	7	Chile	0	1
Tailanda	0	7	Colombia	0	1
China	2	5	Russia	0	1
Belgica	4	5	Suiça	0	1
Alemanha	5	5	Suécia	0	1
Mexico	3	4	Coreia Sul	0	1
Taiwan	10	4	Egito	3	0
Brasil	2	3	Portugal	1	0
Espanha	0	3	Coreia Sul	0	1
Paquistão	2	3	Egito	3	0
Argentina	6	2	Portugal	1	0
E.U.A	1	2	Vietnan	1	0
Hungria	0	2	Luxemburgo	1	0
Marrocos	0	2	Bangladesh	1	0
Filipinas	1	2	Reino Unido	1	0
N Zelândia	1	1	Itália	10	0
Singapura	1	1			
Arabia	0	1	Total	119	97

Figura 2-20:Fonte: JIPM – Japan Institute Plant of Maintenance

Para compreender a filosofia e os princípios associados ao TPM é necessário compreender os conceitos de perdas e de eficiência global de um equipamento e as metodologias que utiliza.

2.3.6.1 Pilares da manutenção produtiva total

A manutenção produtiva total está baseada em oito pilares (Cabral J. S., 1998), de que se destaca a manutenção autónoma:

1. *Melhorias individualizadas nas máquinas (kaizen continuous improvement)*
2. *Estruturação da manutenção autónoma (job enlargement)*
3. *Estruturação da manutenção planeada (maintenance requirement planning)*
4. *Formação para incremento das capacidades do operador e do técnico da manutenção (on the job training)*
5. *Controlo inicial do equipamento e produtos (initial control)*
6. *Manutenção para a qualidade*

7. *TPM nos escritórios*
8. *Higiene, segurança e controlo ambiental*

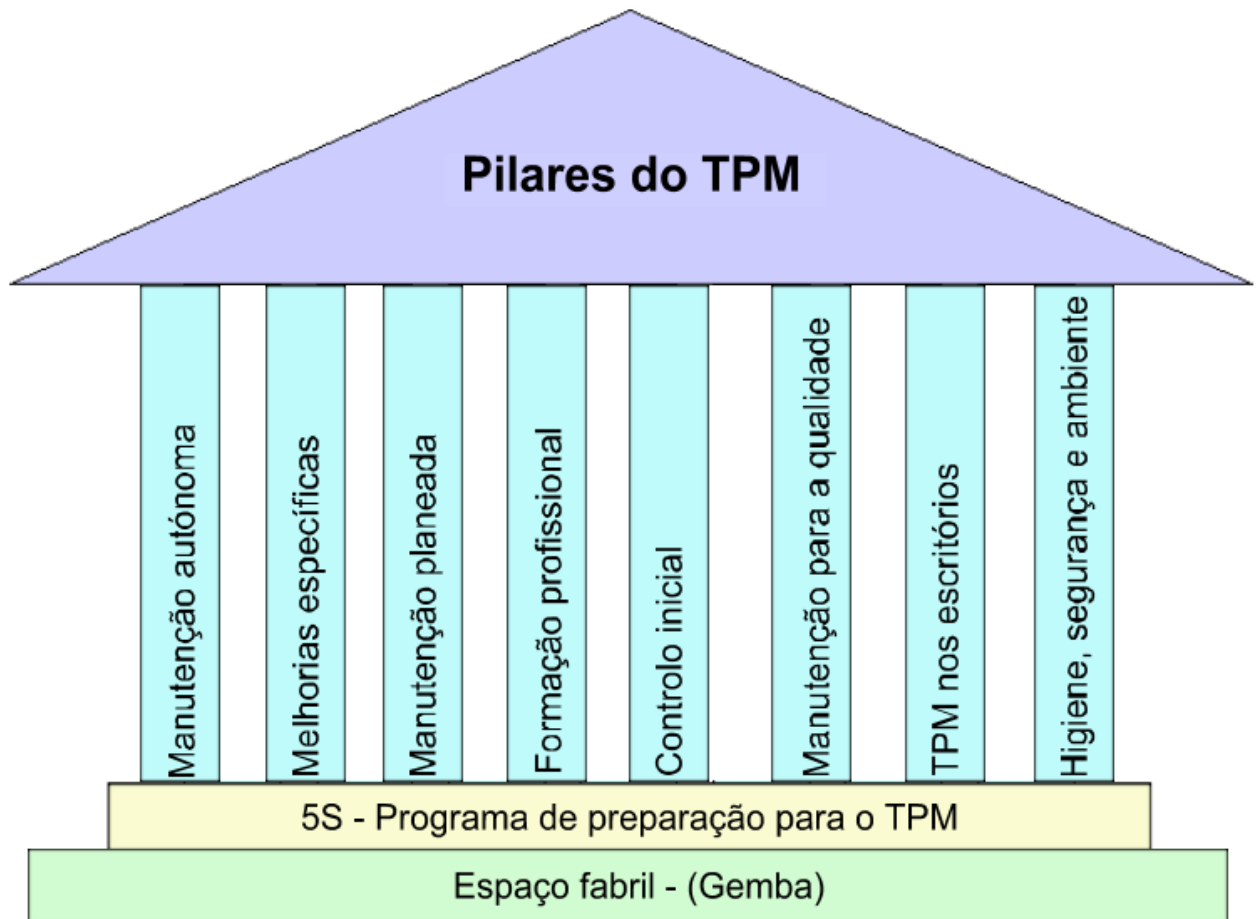


Figura 2-21: Pilares do TPM¹³

¹³ Adaptado de (Venkatesh, 2007)

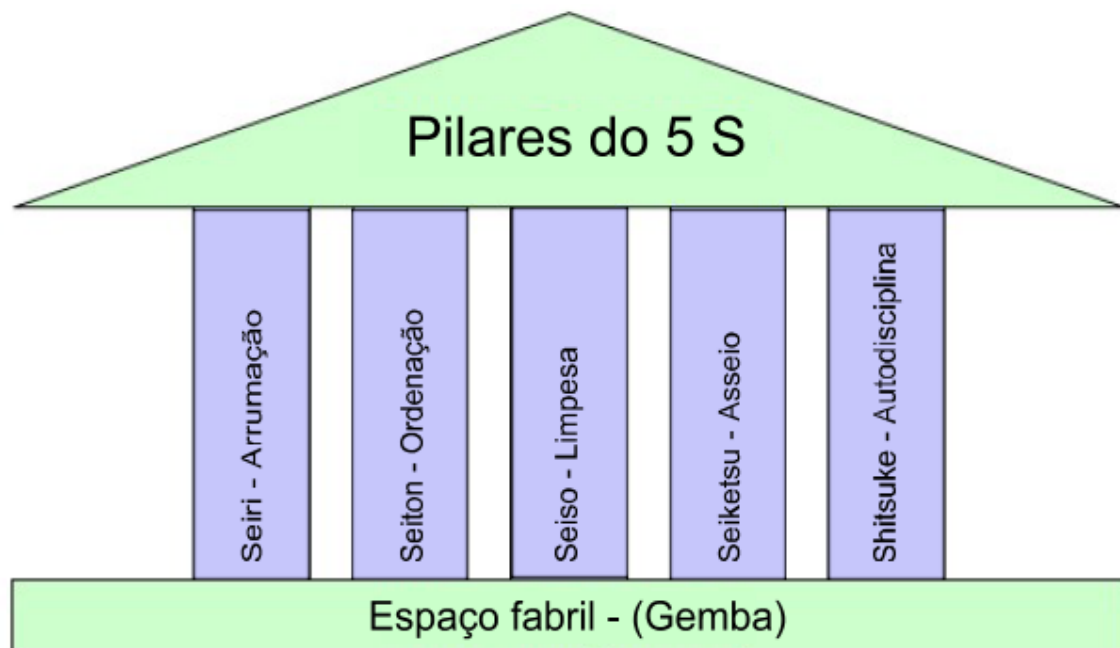


Figura 2-22: Pilares do 5S¹⁴

Os cinco S (5S) consistem num conjunto de procedimentos, muito simples, que têm por objectivo a redução de desperdícios, a melhoria do desempenho das pessoas e dos processos e a arrumação da fábrica (Pinto J. P., 2009).

Os conceitos subjacentes ao 5S têm por base as palavras japonesas, Seiri, Seiton, Seisoh, Seiketsu e Shitsuke, traduzidas por, Arrumação, Ordenação, Limpeza, Asseio e Autodisciplina, respectivamente (Verri, 2007, p. 22).

Qualquer processo de implementação da Manutenção Produtiva Total deve começar por um processo sistemático de limpeza, organização do local de trabalho e implementação do 5S. Para além de melhorar a satisfação dos trabalhadores, aumenta a produtividade (menor perda de tempo na procura de materiais e ferramentas), melhora a qualidade das intervenções, favorece a imagem da empresa, diminui os custos (redução de desperdícios) e facilita a identificação dos problemas (Verri, 2007, p. 23).

¹⁴ Adaptado de (Venkatesh, 2007)

2.3.6.3 *Melhorias individualizadas nas máquinas*

Na filosofia do TPM considera-se que num contexto organizacional deve-se dar primazia às pequenas inovações. Relativamente aos benefícios de um pequeno número de grandes inovações, a prazo um número muito grande de pequenas inovações revela-se mais eficaz.

Essas pequenas inovações vão surgindo em toda a organização como resposta ao desafio de reduzir as perdas e perseguir o objectivo das zero falhas. Outros objectivos consistem em alcançar zero perdas nas pequenas paragens para mudanças de fabrico, ajustes, etc.

Entretanto e de acordo com Nakajima, citado por Verri (2007, p. 35), as falhas dos equipamentos constituem, apenas a ponta do *iceberg*, sendo necessário aprofundar as causas das falhas que, em geral, têm origem na falta de limpeza, atrito excessivo, folgas e deformações. Para reduzir o seu impacto e tendo em vista o objectivo das zero avarias são propostas cinco medidas, designadamente, dar prioridade à resolução das causas básicas (lubrificação, limpezas e reapertos), operar os equipamentos dentro dos seus limites de segurança, intervir nos equipamentos com falhas crónicas (manutenção de melhoria) e melhorar a formação técnica (manutenção e operação) do pessoal envolvido.

Entretanto deve salientar-se que o objectivo do TPM não consiste (apenas) na maximização da disponibilidade das máquinas mas visa a maximização da utilização das máquinas (Venkatesh, 2007).

A busca incessante de melhorias é suportada numa metodologia sistemática que se apoia em diversas ferramentas (poka-doke, etc.) de eficácia comprovada.

Para a melhoria da *performance* das máquinas é necessário identificar as áreas de melhoria e acompanhar a evolução da OEE(Rich, Bateman, Esain, & Massey, 2006).

2.3.6.4 *Manutenção autónoma*

A manutenção autónoma é um dos pilares mais importantes da Manutenção Produtiva Total. Através da manutenção autónoma os operadores de produção passam a assegurar, a par das suas

tarefas de produção, algumas tarefas relacionadas com a manutenção das máquinas com que operam. A execução dessas actividades (limpeza, lubrificação, inspecção visual, reapertos, etc.), pela produção, liberta o pessoal de manutenção para o desempenho de tarefas mais qualificadas(Rich, Bateman, Esain, & Massey, 2006).

O alargamento das actividades dos operadores de produção é antecedita por um programa de formação que permita aos operadores conhecerem os aspectos fundamentais do TPM e das tarefas de manutenção que vão executar. Na parte prática da formação os operadores deverão ser orientados por técnicos de manutenção sobre o conteúdo específico dessas tarefas. É importante que o plano de manutenção de cada máquina , seja elaborado em colaboração com cada um dos operadores e que seja escrupulosamente cumprido. Para efectuar a inspecção aos equipamentos os operadores deverão ser formados, de acordo com as necessidades, nos conteúdos fundamentais, de várias disciplinas (pneumática, hidráulica, electricidade, lubrificação, etc.).

2.3.6.5 Manutenção planeada

Com a manutenção planeada pretende-se reduzir os custos em manutenção, assegurar a disponibilidade de peças de reserva, melhorar a fiabilidade dos equipamentos, aumentar a sua disponibilidade e alcançar a meta das zero falhas e zero paragens de produção. A sua implementação decorre da aplicação de uma estratégia baseada nos seguintes passos: avaliar estado dos equipamentos, calcular o respectivo MTBF, evitar a deterioração e minimizar (ou eliminar) os pontos fracos dos equipamentos, lançar um sistema de gestão da manutenção, elaborar um plano de manutenção preventiva, preparar um plano de manutenção preditiva e avaliar a manutenção planeada(Rich, Bateman, Esain, & Massey, 2006).

2.3.6.6 Formação profissional

Com a formação profissional pretende-se que o trabalhador adquira novas competências (polivalência) que o habilitem a exercer a sua função com maior eficácia e autonomia. Esta formação não se limita a preparar os trabalhadores para uma tarefa (como), também tem por objectivo que os formados conheçam a justificação e a necessidade (porquê) das tarefas e dos conhecimentos e competências adquiridas.

Dessa forma poderão ser minimizadas as falhas e as perdas por erros humanos devido à falta de conhecimentos e de competências técnicas. A formação estará direccionada para a melhoria dos conhecimentos e competências técnicas e deverá decorrer num ambiente que incentive a auto-aprendizagem.

No âmbito do TPM, também se pretende desenvolver e reunir um conjunto de procedimentos escritos e de recursos de apoio (lições sobre tópicos específicos, vídeos, etc.) ao desenvolvimento do TPM(Rich, Bateman, Esain, & Massey, 2006).

2.3.6.7 Controlo inicial

É necessário assegurar que os novos equipamentos sejam colocados ao serviço de forma controlada, com zero perdas e *performance* optimizada. Para isso, é indispensável a análise de falhas e a colaboração empenhada do fornecedor do equipamento, entre outros aspectos(Rich, Bateman, Esain, & Massey, 2006).

2.3.6.8 Manutenção para a qualidade

A melhoria da manutenção tem implicações na qualidade dos produtos produzidos. A manutenção toma consciência da dependência que existe entre o estado dos equipamentos (nomeadamente de algumas partes) e a qualidade dos produtos.

É incrementada a detecção prematura dos defeitos e são desencadeadas actividades de apoio à garantia de qualidade e ao desenvolvimento de metodologias eficazes (poka-yoke, etc.) de melhoria da qualidade.

É definido o objectivo de analisar e eliminar as várias fontes de defeitos com consequências negativas na qualidade dos produtos, nomeadamente as que têm origem nos equipamentos. Para a identificação das melhorias a efectuar é importante a análise dos dados e o trabalho de equipa em grupos de resolução de problemas(Rich, Bateman, Esain, & Massey, 2006).

2.3.6.9 TPM nos escritórios

No decorrer da implementação do TPM é importante que também possa abranger os serviços administrativos de apoio. Dessa forma poderão ser minimizadas diversas perdas, nomeadamente as associadas às reclamações dos clientes devido a uma logística deficiente, aos tempos de processamento excessivo (vendas, marketing, stocks, compras, etc.) por circuitos de comunicação e de organização deficientes.

É promovido o desenvolvimento de um exaustivo sistema de documentação para permitir a melhoria do processo e a simplificação da administração do sistema (Rich, Bateman, Esain, & Massey, 2006).

2.3.6.10 Higiene, segurança e ambiente

A promoção da higiene, da segurança e da qualidade ambiental, é uma característica fundamental do TPM com o objectivo de reduzir a zero o número de acidentes de trabalho, as situações lesivas da saúde e de incêndios e outras situações catastróficas de origem humana. A divulgação de mensagens de sensibilização através de cartazes, slogans, etc., é uma das medidas mais frequentes.

É importante rever a organização do local de trabalho e as práticas e métodos de trabalho, no sentido da melhoria, da higiene, segurança e qualidade ambiental.

2.3.6.11 Implementação do TPM

No processo de implementação da manutenção produtiva total salientamos de acordo com Nakajima (1989) Suzuki (1994) quatro fases principais: período de preparação para a introdução, início da introdução, implementação e consolidação. Estas quatro fases são implementadas em doze etapas, conforme se mostra na tabela 2.7:

Tabela 2-7: Implementação do TPM

Fases	Etapas	Observações
Preparação	1-Decisão da administração	Empenhamento da administração no desenvolvimento do projecto
	2-Formação inicial	Cursos e sessões informativas para todo o pessoal
	3-Estrutura organizativa	Formação de grupos de trabalho
	4-Estabelecimento de metas	Definição de objectivos e indicadores
	5-Plano geral de implementação	Planeamento de todas as fases e etapas do projecto
Início da Introdução	6-Começo das actividades programadas	Sessão de abertura com a presença de clientes, fornecedores e empresas colaboradoras
Implementação	7-Melhorias individualizadas nos equipamentos para melhoria do seu rendimento	Seleccção de equipamentos piloto para mostrar os benefícios do TPM
	8-Manutenção autónoma	
	9-Manutenção planeada	Manutenção preventiva e preditiva.
	10-Formação profissional	Desenvolvimento de competências por parte do pessoal da produção e da manutenção
	11-Controlo inicial do equipamento e produtos	
Consolidação	12-Aplicação global do TPM	

A adopção de um programa de TPM pode constituir uma oportunidade única de sobrevivência, para muitas empresas, inseridas num ambiente económico de grande competitividade. De facto o TPM é um programa que já demonstrou a sua eficácia e pode ser implementado em diversos tipos de empresas (construção civil, instalações industriais, transportes, etc.), com benefícios económicos significativos relativamente aos recursos investidos(Venkatesh, 2007).

Entretanto, deve sublinhar-se um conjunto de obstáculos que as empresas enfrentam quando pretendem iniciar um processo de implementação do TPM. A adopção do TPM envolve mudanças culturais e necessita de tempo e de empenho por parte dos diversos intervenientes. Boa parte dos obstáculos estão associados à resistência à mudança de muitas pessoas e à insuficiente compreensão deste modelo, nomeadamente por parte dos gestores intermédios.

Acresce que alguns trabalhadores o consideram como mais um programa, duvidando da sua eficácia e encarando-o como uma ameaça(Venkatesh, 2007).

2.3.6.12 Perdas

A manutenção produtiva total está orientada para melhorar os resultados da empresa e a eficiência na utilização das instalações produtivas. Para o conseguir é necessário eliminar ou reduzir as 6 *grandes perdas*, provocadas pelas mudanças e afinações, avarias, redução do ritmo de produção, esperas e pequenas paragens, arranque da produção e defeitos. Analisando os diversos tipos de perdas, Nakazato (2001), citado por (Bormio, Rodrigues, & Bormio, 2005) identificou 16 tipos de *perdas*, sendo 8 associadas aos equipamentos e 8 associadas aos recursos humanos e materiais.

Para efectuar a redução das perdas é geralmente utilizado o ciclo de melhoria contínua ou ciclo de Deming. Este círculo é constituído por 4 fases: planear (50%), fazer (15%) , verificar (15%) e ajustar (20%). As percentagens entre parênteses correspondem à importância relativa de cada uma das fases(Pinto J. P., 2009).

2.3.6.13 Índice de Eficiência Global de Equipamentos (OEE –Overall Equipment Effectiveness)

Através do Índice de Eficiência Global de Equipamentos (OEE), é possível medir os progressos efectuados com a implementação do TPM.

Para calcular o OEE é necessário começar por determinar os índices de disponibilidade, de desempenho e de qualidade dos equipamentos e depois multiplicar os valores obtidos. De acordo com Nakajima(1989), citado por Bresciani (2009) um valor de 85% para o índice de Eficiência Global de Equipamentos, é considerado satisfatório. A obtenção deste valor requer que o índice de disponibilidade esteja acima de 90%, o índice de desempenho esteja acima de 95% e o índice de qualidade também, esteja acima de 99%.

2.3.7 Manutenção Baseada na Fiabilidade

A manutenção baseada na fiabilidade (Reliability Centered Maintenance – RCM) , é uma metodologia de manutenção com origem na indústria aeronáutica, designadamente nos estudos

de redução de probabilidade de falha, associados à construção de um novo tipo de avião, Boeing 747, de grande complexidade tecnológica, com elevados níveis de automação e um número elevado de passageiros(Simonetti, Souza, Leandro, Trabachini, & Ell, 2010).

A manutenção baseada na fiabilidade consiste, de acordo com Rui Assis (2010, p. 25) num “método sistemático para determinar quais devem ser os requisitos de manutenção de forma a assegurar que qualquer equipamento continue a desempenhar as funções requeridas no seu contexto operacional”. No essencial, é um modelo alternativo de manutenção, que visa o entendimento das causas das falhas para poder minimizar os efeitos da sua ocorrência. Entendendo por falha uma interrupção ou alteração na capacidade de funcionamento e/ou desempenho, de um item, componente, equipamento ou sistema reparável(Simonetti, Souza, Leandro, Trabachini, & Ell, 2010).

A Manutenção Baseada na Fiabilidade analisa as falhas nos diversos níveis em que ela pode ocorrer: sistema, subsistema, componente e peças, procurando uma adequada compreensão de como a falha pode ocorrer em cada um dos níveis. De acordo com a RCM, as falhas podem ser classificadas de acordo com o efeito que provocam num sistema em potenciais e funcionais. As funcionais, de acordo com a sua visibilidade, ainda podem ser classificadas em evidentes, ocultas e múltiplas(Siqueira, 2005). Também se podem classificar de acordo com outros critérios, designadamente, extensão, criticidade, idade, manifestação, velocidade e origem:

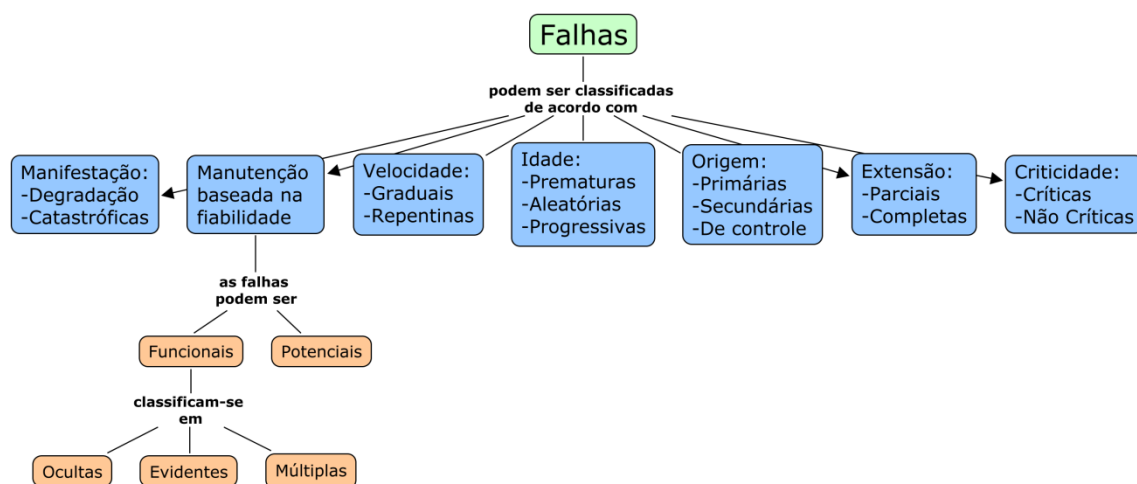


Figura 2-23: Classificação das falhas

Para fazer a identificação das falhas e proceder à sua documentação e avaliação, com o objectivo de evitar a sua ocorrência e/ou minimizar os seus efeitos é muito utilizada a metodologia de Análise dos Modos e Efeitos de Falha (Failure Modes and Effects Analysis – FMEA), entre outras(Farinha, 2011).

Um estudo de FMEA envolve, para cada função de um Sistema Reparável ou Instalação a análise de diversos aspectos, designadamente, do objectivo e nível de desempenho desejado para a função, do modo de falha ou do que pode falhar, da causa da falha ou porque é que ela ocorreu, do efeito da falha ou quais foram as suas consequências para o desempenho da função principal e da sua criticidade ou avaliação das suas consequências. Também é frequente incluir nesse estudo, outros aspectos importantes, nomeadamente, os sintomas das falhas, as taxas de falhas e as sugestões de melhoria(Farinha, 2011).

A manutenção baseada na fiabilidade tem vindo a ganhar uma crescente importância devido à maior complexidade dos sistemas reparáveis e aos elevados prejuízos decorrentes de eventuais falhas. Este modelo de manutenção fundamenta-se na aplicação de conceitos matemáticos e técnicas estatísticas e requer a utilização de indicadores relevantes e representativos da informação existente sobre comportamento dos diversos componentes, equipamentos e sistemas reparáveis(Simonetti, Souza, Leandro, Trabachini, & Ell, 2010).

2.3.8 Estratégia de manutenção

As avarias dos equipamentos podem comprometer a concretização dos objectivos quantitativos e qualitativos da empresa. De acordo com a complexidade e a importância do equipamento e a extensão da avaria poderão ocorrer custos significativos para a empresa que podem comprometer os resultados económicos e a sobrevivência da empresa.

A estratégia de manutenção mais adequada para um Sistema Reparável e para as instalações industriais é o resultado da optimização de dois objectivos geralmente contraditórios: a procura da máxima disponibilidade e as limitações orçamentais do departamento de manutenção.

A estratégia de manutenção determina um conjunto de parâmetros fundamentais: política de armazenamento de materiais e peças de reserva, organização, número e qualificação dos recursos humanos, prioridades das acções de manutenção, entre outros(Bertsche, 2008).

Embora determinada pelos objectivos da empresa a estratégia de manutenção é influenciada por um conjunto vasto de factores de que se destacam: o tipo de instalações e de processo produtivo, os objectivos e necessidades da produção, o plano de modernização e de substituição de equipamentos, a organização e os recursos internos e as características do mercado externo quanto às possibilidades de subcontratação e de aquisição de materiais e peças de reserva.



Figura 2-24: Estratégia de manutenção¹⁵

Também o tipo, estado e idade das instalações e equipamentos, constituem elementos fundamentais na definição da estratégia de manutenção, devendo ser ponderados diversos aspectos: a sua importância no processo produtivo e a sua influência nos custos directos e indirectos da manutenção, as consequências de uma avaria no ambiente e na segurança de pessoas e bens, os resultados dos estudos efectuados à fiabilidade dos equipamentos, a facilidade e rapidez na execução das tarefas de manutenção (manutibilidade), tipo de avarias no que se refere à sua aleatoriedade e/ou dependência do tempo de funcionamento, a possibilidade de efectuar o controlo de condição, a possibilidade de substituição por outro de reserva, os aspectos legais relacionados com exigências de vigilância e inspecções. Após este levantamento é necessário efectuar um estudo económico comparativo que contemple as vantagens e desvantagens de cada opção de manutenção, nomeadamente quanto ao tipo de manutenção a efectuar a cada equipamento: preventiva sistemática, inspecções, correctiva, condicionada, etc.

As necessidades da produção têm consequências directas nas estratégias de manutenção no que se refere à definição dos períodos em que a manutenção poderá realizar as suas tarefas e às exigências quantitativas e qualitativas associadas a cada um dos equipamentos.

Os serviços de manutenção deverão participar na elaboração dos planos de modernização e/ou de substituição dos equipamentos e nas diversas fases da sua concretização. Dessa forma é possível, logo na fase de projecto definir critérios quanto à fiabilidade e manutibilidade dos equipamentos, proceder a eventuais alterações que se justifiquem e garantir a recepção técnica do equipamento e de toda a documentação necessária.

¹⁵ Adaptado de B. Bertsche (2008)

O tipo de modelo de estrutura e de organização da manutenção, centralizado ou descentralizado, afecta o tipo de relacionamento e de empenhamento dos diversos intervenientes. O modelo centralizado permite uma melhor organização e especialização dos recursos humanos e meios técnicos de diagnóstico. Tem o inconveniente de um maior peso administrativo que dificulta uma resposta pronta e imediata. A manutenção descentralizada favorece a resposta pronta e imediata e o envolvimento da produção nas tarefas de manutenção preventiva. No entanto, neste modelo, não é viável (economicamente) quando são requeridos recursos e meios altamente especializados (Mendonça Dias, 2002, p. 82).

O número de trabalhadores e técnicos da manutenção, a sua formação e qualificação e os programas de formação contínua (também) devem estar contemplados em qualquer estratégia de manutenção.

As características do *software* de gestão da manutenção e a sua articulação com as restantes funções da empresa devem estar incluídas na estratégia de manutenção, assim como as características do armazém e a política de gestão de materiais e peças de reserva. Finalmente os meios oficinais existentes a sua distribuição pela fábrica e o seu nível de qualificação e especialização também afecta de forma significativa o êxito da manutenção.

Na definição da estratégia de manutenção, as opções, que forem tomadas, deverão passar a constituir as políticas de manutenção da empresa e deverão ficar registadas num manual, designadamente, os procedimentos e práticas de manutenção, as metas e objectivos, os critérios utilizados para enquadrar as máquinas em cada tipo de manutenção, entre outras.

2.3.9 Indicadores de manutenção

A definição de indicadores de manutenção, entendidos como “*característica medida de determinado fenómeno, estabelecida por uma fórmula, que avalia a sua evolução*” é uma forma de estabelecer metas e de medir o desempenho da função manutenção (Cabral J. P., 2009).

Por indicador deve entender-se um conjunto de valores ordenados no tempo, para interpretar o comportamento de um processo (ou função), em relação a uma determinada meta ou objectivo (Heredia Álvaro, 2004, p. 71).

Para uma gestão eficiente da manutenção é necessário que exista um conjunto de indicadores que forneçam informações significativas sobre os aspectos mais relevantes e significativos da manutenção. De entre os diversos indicadores referidos na literatura seleccionaram-se, de acordo com Iony Siqueira, citado por (Simonetti, Souza, Leandro, Trabachini, & Ell, 2010), os

seguintes: Tempo de paragem, Tempo de espera, Tempo de impedimento, Disponibilidade, Custo de manutenção, Tempo médio entre falhas e Tempo médio de reparação.

- Por Tempo de Paragem entende-se o tempo decorrido entre a participação da indisponibilidade do equipamento e o recebimento da autorização para o (tornar a) colocar em funcionamento.
- O Tempo de Espera consiste no tempo que passou entre a comunicação da avaria do equipamento e o momento em que o responsável pela manutenção inicia o processo de resolução da avaria.
- Por Tempo de Impedimento entende-se o tempo de espera, gasto por entidades exteriores à manutenção (compras, laboratório, etc.).
- A Disponibilidade consiste na probabilidade de um equipamento se encontrar disponível num determinado momento¹⁶.
- Nos Custos de Manutenção, estão incluídos os custos de perda de produção, os custos de manutenção e os custos associados aos componentes e peças de reserva, entre outros.
- O Tempo médio entre falhas (MTBF), representa o tempo que decorre, em média, entre duas falhas consecutivas e é um bom indicador da fiabilidade de um equipamento, isto é, da sua capacidade para desempenhar as suas funções, sem falhas, num determinado período de tempo. Como elemento informativo de interesse, para a gestão, refere-se a um período longo de análise, geralmente o ciclo de vida do equipamento e nesse caso é dado pelo inverso da taxa de falhas.
- O Tempo médio de reparação exprime a média dos tempos gastos nas reparações, para um determinado período de análise. Inclui todas as tarefas necessárias para reparar o Sistema, qualquer que seja a área funcional a que pertença (manutenção, compras, laboratório, etc.).

¹⁶ Este conceito foi analisado quando se estudou a Fiabilidade

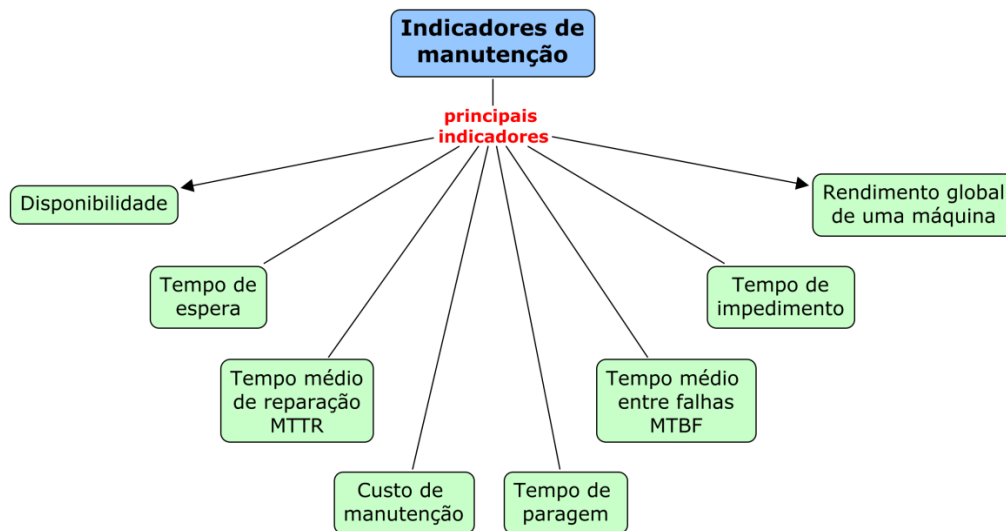


Figura 2-25: Indicadores de manutenção

Para além destes indicadores e no âmbito da implementação da Manutenção Produtiva Total, também se recomenda o cálculo do Rendimento Global de uma Máquina (Overall Equipment Efficiency – OEE), pelo próprio operador do equipamento, se possível (Cabral J. P., 2009).

2.3.9.1 Rendimento global de uma máquina (Overall Equipment Efficiency - OEE)

É importante que seja efectuado o cálculo do rendimento global de cada uma das máquinas críticas, de preferência pelo próprio operador (Cabral J. S., 2006).

$$OEE = DOP \times ID \times TQU \times 100 \quad (2.113)$$

Onde:

DOP é a Disponibilidade operacional, ID é o Indicador de desempenho e TQU é a Taxa de qualidade

2.3.9.1.1 Disponibilidade operacional

Exprime a percentagem da Jornada de trabalho que é dedicada à efectiva operação do equipamento: $DOP = \frac{TEO}{JTR} \times 100$ (2.114)

$$\text{ou } DOP = \left[\frac{(JTR - T_{par})}{JTR} \right] \times 100, \quad (2.115)$$

onde:

JTR é a Jornada de trabalho, TEO é o Tempo efectivo de operação e T_{par} é o somatório dos tempos de paragem não programada.

2.3.9.1.2 Indicador de velocidade

Exprime a razão, em percentagem, entre o tempo do ciclo nominal e o tempo do ciclo efectivo.

$$VEL = \frac{TC_{nominal}}{TC_{efectivo}} \times 100 \quad (2.116)$$

em que:

$TC_{nominal}$ é o tempo de ciclo nominal e $TC_{efectivo}$ é o tempo do ciclo efectivo

2.3.9.1.3 Indicador do tempo efectivo de operação

Exprime em percentagem, o tempo que a máquina esteve a funcionar de forma efectiva (isto é, a produzir)

$$ITE = Qe \times \frac{Tce}{JTR}, \quad (2.117)$$

em que:

Qe é a Quantidade produzida, Tce é o Tempo do ciclo efectivo e JTR é a Jornada de trabalho

2.3.9.1.4 Indicador de desempenho

É uma forma de medir o desempenho produtivo da máquina. Obtém-se multiplicando os indicadores de velocidade e de tempo efectivo de operação.

$$ID = VEL \times ITE \quad (2.118)$$

2.3.9.1.5 Taxa de qualidade

Exprime a percentagem de produtos produzidos e aprovados relativamente à produção total.

$$TQU = \left[\left(\frac{QT_{produzida} - QT_{defeituosa}}{QT_{produzida}} \right) \right] \times 100 \quad (2.119)$$

2.3.10 Calibração

O funcionamento das actividades económicas depende para o seu funcionamento da realização de medições que sejam fiáveis e que possam ser aceites pelos diversos intervenientes nacionais e internacionais.

Para garantir a qualidade e o rigor das medições recorre-se aos ensinamentos da Metrologia que é a ciência que estuda os assuntos ligados às medidas. Esta área do saber está dividida em categorias de acordo com a complexidade e a exactidão das medidas, designadamente,

metrologia científica, para organização e desenvolvimento dos padrões de medida, metrologia industrial, para assegurar o adequado funcionamento dos padrões de medida utilizados na indústria e metrologia legal para as medições associadas às trocas comerciais(EURAMET, 2008).

Para efectuar as medições são necessários instrumentos que possam efectuar as medidas pretendidas com o adequado rigor. Para isso necessitam de ser, periodicamente, submetidos a acções de calibração e certificação.

A calibração de um instrumento, de acordo com Albertazzi & Sousa (2010), “*é o conjunto de operações que estabelece, sob condições especificadas, a relação entre os valores indicados por um instrumento ou sistema de medição ou valores representados por uma medida materializada ou um material de referência e os valores correspondentes das grandezas estabelecidas por padrões*” e conforme os padrões e os métodos utilizados pode ser directa, indirecta, *in loco* e parcial.

Com a calibração é assegurada a rastreabilidade (ou a relação dos resultados das medidas com padrões, nacionais ou internacionais, através de uma cadeia contínua de comparações, todas com incertezas reconhecidas), e possibilita conhecer (e corrigir, se necessário), a exactidão e a fiabilidade do instrumento (Albertazzi & Sousa, 2010, p. 141).

A pirâmide da figura representa a cadeia de rastreabilidade em que topo é constituído pelas definições das unidades de medida do Sistema Internacional, enquanto o segundo nível é ocupado pelos *padrões internacionais*, geridos e conservados pelo *Bureau International de Pesos e Medidas (BIPM)*, com sede em Sèvres na França(EURAMET, 2008, p. 20).



Figura 2-26: Hierarquia do sistema metrológico (CEFET, 2008)

No nível seguinte encontram-se os *padrões nacionais*, dos Institutos Nacionais de Metrologia, de cada país, que têm como referência os respectivos *padrões internacionais*. Por sua vez, no nível abaixo, os padrões de referência dos *laboratórios de calibração acreditados*, de cada país, que prestam serviços de calibração às empresas, são calibrados pelos *padrões nacionais*. Finalmente, o último nível é ocupado pelos padrões de trabalho que as empresas utilizam para calibrar os inúmeros sistemas de medição de que necessitam para controlar e assegurar a qualidade dos respectivos produtos e processos (Albertazzi & Sousa, 2010, p. 142).

Em qualquer medição está sempre associado o erro de medição, calculado pela fórmula (Albertazzi & Sousa, 2010):

$$E = I - VV \quad (2.120)$$

Onde E , representa o erro de medição, I é a indicação do sistema de medição e VV representa o verdadeiro valor da grandeza.

As medições podem ser afectadas por erros sistemáticos e por erros aleatórios. O erro sistemático, para as mesmas condições de medição, é repetitivo, em valor e em sinal. Este tipo de erro pode ter diversas causas, designadamente, tipo de concepção e construção, forma de utilização e na interpretação dos resultados de medição. É possível reduzi-lo através de verificações periódicas e estabelecendo procedimentos escritos.

O erro aleatório é imprevisível, em valor e em sinal, quaisquer que sejam as condições de medição. Este tipo de erro está relacionado com as características (sensibilidade e histerese) do instrumento e, em geral, não podem ser reduzidos, mas apenas analisados por métodos estatísticos.

Em geral, o comportamento aleatório do erro de medição pode ser bem representado por uma distribuição normal. Dessa forma, para caracterizar quantitativamente a intensidade da componente aleatória do erro de medição, utiliza-se a *incerteza-padrão* (u), que é dada pelo valor do desvio-padrão do erro aleatório.

Na prática, calcula-se uma estimativa do desvio padrão da população a partir do *desvio padrão da amostra* calculado a partir de n medições repetidas:

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (I_i - \bar{I})^2}{n-1}} \quad (2.121)$$

Em que s é o desvio-padrão da amostra, I_i a i -ésima indicação, \bar{I} a média das n indicações e n o número de medições repetidas efectuadas.

Quando calculada a partir de um determinado número de medições repetidas a *incerteza padrão* corresponde ao desvio-padrão da amostra. Neste caso deve ser associado a esse valor o número de graus de liberdade (ν) com que foi estimada. Este número (número de medições repetidas menos um) dá-nos uma indicação do grau de segurança com que a estimativa do desvio-padrão foi calculada. Portanto, a incerteza-padrão e o respectivo número de graus de liberdade são dados pelas fórmulas:

$$u_p = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (I_i - \bar{I})^2}{n-1}} \quad \nu = n - 1 \quad (2.122)$$

Em que u é a incerteza-padrão obtida a partir da amostra, I_i a i -ésima indicação, \bar{I} a média das n indicações, n o número de medições repetidas efectuadas e ν o número de graus de liberdade da estimativa da incerteza-padrão.

No caso da calibração de um sistema de medição e onde estão presentes diversas fontes de incerteza a determinação da incerteza é um procedimento complexo que sai fora dos objectivos deste trabalho.

A manutenção e a calibração (incluindo a verificação, o ajuste e a regulação) de instrumentos de controlo industrial tem uma grande importância para o bom funcionamento e segurança das instalações industriais. Para além das perdas associadas às indicações erradas de um instrumento, o seu mau funcionamento também poderá colocar em risco a segurança de pessoas e bens.

A calibração de instrumentos integra o conjunto de procedimentos abrangidos pelo Sistema de Qualidade de uma empresa e é uma das exigências das normas ISO 9000. De facto, a qualidade deve ser assegurada por um controlo rigoroso dos parâmetros de fabricação dos produtos, evitando (ou minimizando) o controlo de qualidade dos produtos acabados(Solé, 2005).

Os procedimentos de calibração são complexos e dependem das características dos sistemas de medição. Após a calibração do instrumento ou sistema de medição é emitido um certificado de calibração pelo laboratório ou entidade acreditada que efectuou essa actividade. Em geral, o certificado contém a identificação do proprietário do instrumento, do laboratório que efectuou a calibração e a identificação do sistema de medida e das suas características técnicas. Também deverá apresentar outros dados, designadamente, a síntese das conclusões da calibração, o padrão que foi utilizado, o procedimento de calibração que foi seguido, as condições ambientais no momento da calibração (se forem relevantes) e uma tabela com os principais resultados da calibração(Albertazzi & Sousa, 2010).

2.3.11 e-Manutenção

O desenvolvimento das Tecnologias da Informação e da Comunicação e dos Sensores e a sua aplicação à manutenção estão na origem de um novo conceito de manutenção, conhecido por e-Manutenção, conforme se sugere na figura (Holmberg, Adgar, Arnaiz, Jantunen, Mascolo, & Mekid, 2010).

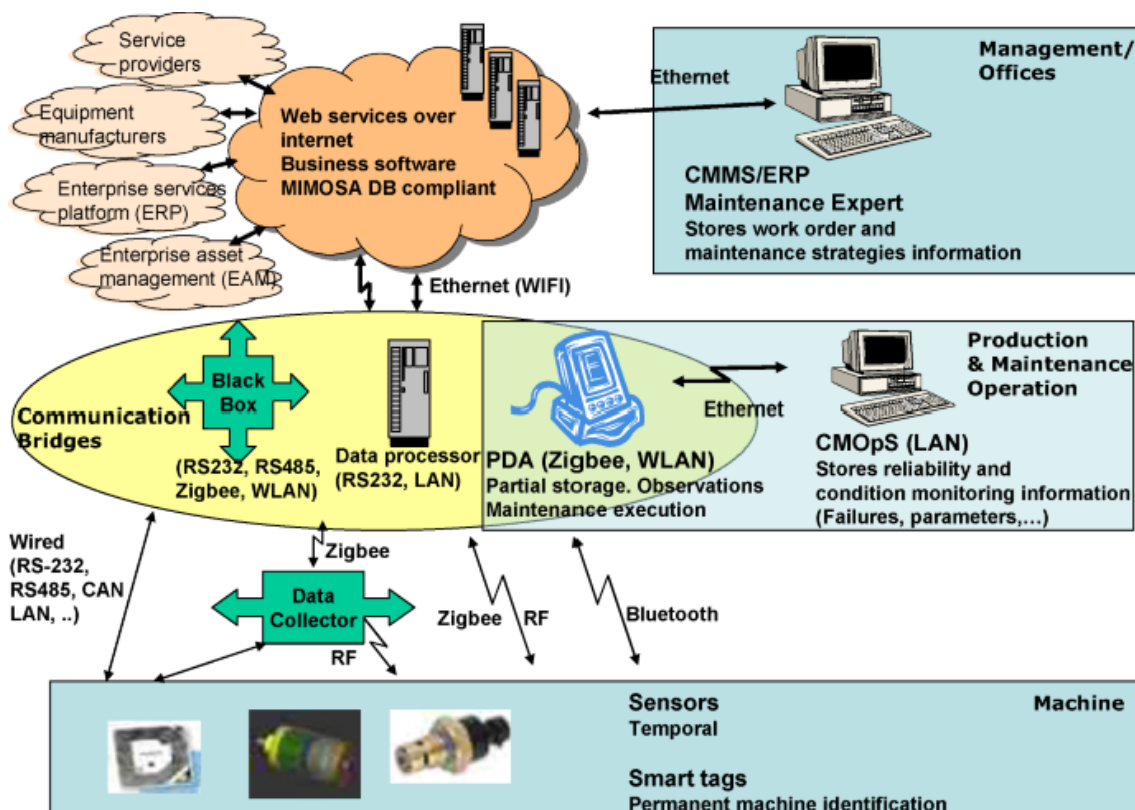


Figura 2-27: Aplicação do conceito de e-manutenção, da DynaWeb

2.4 e-Learning

Para melhorar a competitividade das empresas e garantir a sua sobrevivência não é suficiente a aposta na qualidade dos processos e produtos, é também necessário encontrar formas de promover a inovação e a aprendizagem. Para além de fomentar a formação auto dirigida ou autoformação, as empresas necessitam de definir estratégias de formação dos seus colaboradores (Lopes & Picado, 2010).

Entretanto, a adoção de programas de formação contínua coloca problemas relacionados com a avaliação, garantia e qualidade da formação que é prestada, e com a eficácia, idoneidade e rendimento dessa formação.

A implementação de um programa formativo envolve diversas fases, nomeadamente as seguintes: levantamento de necessidades, definição de objectivos, elaboração de programas e avaliação dos resultados obtidos.

Após a realização da formação a avaliação deverá permitir uma análise dos resultados obtidos e do seu impacto para o desenvolvimento das competências profissionais dos trabalhadores envolvidos. A avaliação da formação é geralmente centrada em quatro aspectos fundamentais: adequação do currículo, adesão e participação dos formandos, aprendizagens efectivas, aplicação prática dos novos conhecimentos e impactos na organização(Cardim, 2009).

A formação ministrada numa empresa pode ser categorizada em três tipos principais, de acordo com o público –alvo a que se dirige. Formação de actualização destinada a preparar os trabalhadores para as novas exigências da sua função. Reciclagem, destinada a recuperar a operacionalidade de uma dada pessoa, ou grupo de pessoas e formação de promoção ou complementar, quando se pretende preparar os trabalhadores para o exercício de funções mais qualificadas(Cardim, 2009).

À modalidade de ensino a distância, através da Internet, que procura aproveitar todos os recursos disponíveis online, para proporcionar um ambiente virtual de aprendizagem (EVA), centrado no aluno, interactivo, diversificado e motivador, é geralmente associada a designação de *e-learning*, entre outras(Aretio, 2001).

A utilização das potencialidades associadas a cada uma das modalidades de ensino, presencial e *online*, é denominada de *blended-learning* ou simplesmente *b-learning*. O conceito de formação combinada, ou mista, tem vindo a desenvolver-se e pretende valorizar o que existe de melhor e insubstituível, nas modalidades presencial e à distância, *online*(Peres & Pimenta, 2011, p. 15).

O ambiente virtual de aprendizagem agrupa diversas ferramentas digitais de comunicação (síncrona e assíncrona), de gestão dos recursos didácticos e de seguimento e avaliação dos alunos, com o objectivo de otimizar o processo de ensino-aprendizagem (Aretio, Corbella, & Figaredo, 2007).

Entretanto o desenvolvimento da Web 2.0 diversificou e aumentou o grau de liberdade para o desenvolvimento de programas formativos baseados na Internet(Aretio, Corbella, & Figaredo, 2007). A Web 2.0 colocou à disposição dos usuários da internet um conjunto de aplicações orientadas para promover a bidireccionalidade (síncrona e assíncrona) e a interacção entre os seus utilizadores que, desta forma, reforçam o papel activo dos usuários da internet. Entre

outras, destacam-se as redes sociais, e as ferramentas de escrita colaborativa, de comunicação online, de *social bookmarking* e de disponibilização de vídeos (Coutinho & Alves, 2010).

2.4.1 Redes sociais

Uma rede social é de acordo com a Wikipédia, “*uma estrutura social composta por pessoas ou organizações, conectadas por um ou vários tipos de relações, que partilham valores e objectivos comuns*”. As redes sociais têm beneficiado de uma crescente adesão devido às suas características de informalidade e de interactividade. Aplicadas à educação e à formação profissional as redes sociais são um importante instrumento de realização de trabalhos de grupo e de desenvolvimento da aprendizagem colaborativa e informal. As redes sociais facilitam a comunicação e a interacção entre alunos e entre professores e alunos e permitem novas formas de socialização, fomentam a educação inclusiva e a criação de vínculos com outros membros da comunidade(Online_College, 2009). Para além disso, proporcionam um ambiente mais informal que favorece a participação e a actividade colaborativa e promove a transição para um modelo educativo baseado na conectividade. Os cuidados requeridos na utilização das redes comerciais, devido aos riscos e vulnerabilidades que lhe estão associadas, também contribuem para o desenvolvimento da responsabilidade pessoal(Online_College, 2009).

As redes sociais também potencializam a actividade das comunidades de prática através da sua transição para comunidades virtuais de aprendizagem. As comunidades de prática, são constituídas por pessoas com interesses comuns que partilham recursos, experiências e informações, para resolverem problemas comuns. As associações profissionais, os grupos formados por trabalhadores da mesma especialidade ou do mesmo serviço, são exemplos de comunidades de prática.

Esses ambientes de aprendizagem (virtuais ou não) são motivadores e estimulantes das aprendizagens individuais e do saber colectivo. De acordo com a Teoria da Aprendizagem de Vigotsky, a interacção entre os diversos membros da comunidade, num determinado contexto sociocultural, para procurar a resolução de um problema ou levar a cabo uma tarefa, favorece a realização de aprendizagens, por parte dos diversos membros do grupo, devido à ajuda mútua, integração de diferentes opiniões e partilha de saberes e experiências.

2.4.2 Vídeo educativo

O acesso a vídeos através do You tube é uma das ferramentas da Web 2.0, com crescente divulgação e aceitação. Para além de milhões de vídeos de todas as categorias também se encontram, nesse sítio, inúmeros canais pertencentes a instituições educativas de diversos países. Uma das fortes características dos vídeos didácticos é o de poderem ilustrar e/ou simular a realização de diversas actividades profissionais. Também são especialmente adequados para o tratamento de conteúdos educativos que integrem movimento e elementos auditivos e visuais. Essas possibilidades didácticas e a facilidade que existe na sua produção e divulgação, generalizaram a utilização desta forma de comunicação.

Os vídeos educativos podem ser classificados de acordo com as seguintes categorias (Muñoz-Repiso, 2009): vídeo – lição (apresentação sistemática e exaustiva dos conteúdos), vídeo – motivador (sensibilizar e motivar os alunos), vídeo-apoio (ilustrar e completar as explicações do professor), vídeo monoconceptual (abordar um aspecto limitado de um assunto em poucos minutos) e vídeo-interactivo (possibilidade de diálogo homem-máquina).

Analisando a utilização do vídeo em sala de aula, Ana García (2009), identificou 11 potencialidades pedagógicas do vídeo educativo, de que se destacam, a sua utilização como instrumento de criatividade, de análise da realidade, transmissor de informação e motivador.

2.4.3 Social bookmarking

Outra ferramenta da Web 2.0, com grandes implicações educativas, é constituída pelas ferramentas digitais destinadas a permitir a recuperação de informação (Delicious, etc.). Com efeito, as propostas didácticas mais frequentes nos cursos e-Learning consistem em recomendar recursos que se encontram disponíveis online. Por vezes a totalidade dos recursos necessários para o estudo do aluno estão disponíveis na Internet.

Um dos problemas maiores da web está relacionado com a vastidão e a desorganização da informação disponível, devido à insuficiente classificação dos recursos digitais. Para minimizar essa desordem, Thomas Vander Wal inventou em 2004 a palavra *folksonomia*, para se referir à catalogação de recursos online através de *tags* (descritores) efectuada pelos próprios utilizadores.

São diversos os *sites* que utilizam este conceito (Flickr, Connotea, Youtube, Last.fm,

Bibsonomy, Twitter, etc.). O site *Del.ici.ous* (<http://www.delicious.com>), é um dos *sites* com maior número de utilizadores desse conceito. Após a abertura de conta, é possível armazenar, classificar com *tags* (descritores) e partilhar endereços de recursos online e beneficiar da actividade colaborativa de milhões de utilizadores. Também permitem a classificação personalizada e a atribuição de *rankings* aos endereços *online*.

A utilização deste *site* (e de outros similares), possibilita o desenvolvimento de diversas propostas educativas. Por exemplo, no âmbito do departamento de manutenção é possível organizar os recursos de cada profissão, ou catalogar e avaliar os recursos associados a cada conceito – chave. Entretanto, a falta de um sistema normalizado de *tags* e de algumas serem muito pormenorizadas, e de não poderem ser hierarquizadas, constituem desvantagens deste tipo de classificação de recursos online.

2.4.4 Elaboração de curso online

Quando se pretende elaborar uma proposta formativa, devem ser levantadas diversas questões prévias relacionadas com a gestão do curso e orçamento, infra-estrutura tecnológica, audiência, temática, modelo pedagógico e avaliação do curso. Para uma adequada gestão do curso é necessário a existência de um responsável pela componente pedagógica e de um responsável pela componente administrativa. O responsável pedagógico deverá garantir, entre outros aspectos, a coordenação dos professores, a "negociação" dos currículos e objectivos de aprendizagem, a condução das reuniões e a escolha, selecção e avaliação dos tutores e formadores. O responsável administrativo deverá assegurar as questões relacionadas com a gestão do orçamento, com a aquisição de materiais e pagamentos, entre outros aspectos administrativos.

No caso de um curso b-learning, os responsáveis pela proposta, deverão assegurar-se de que dispõem dos adequados recursos tecnológicos (*hardware* e *software*). Neste âmbito destaco, pela sua importância, a plataforma virtual de aprendizagem, que deverá ter, entre outras características, uma adequada interface gráfica, dispor de ferramentas diversificadas para a comunicação síncrona e assíncrona e assegurar condições de segurança e a privacidade. Entretanto, de acordo com Carr-Chellman & Duchastel, citado por Guilhermina Miranda (2009), um curso online ideal deve incluir os seguintes componentes: guia de estudo, não ter livros online, tarefas a realizar pelos estudantes, exemplos online, ferramentas de comunicação, construção interactiva de competências, referenciais teóricos e actividades práticas.

Deverá ser feito o estudo prévio das características da audiência ou público-alvo do curso, porque, por exemplo, o tipo de actividades a desenvolver, a metodologia a utilizar e o tipo de tutoria estão relacionados com as características dos formandos/alunos do curso. Entre outras variáveis, é importante considerar: idade, formação escolar, literacia informática, posse de computador, motivação e disponibilidade para a frequência do curso.

Também as características dos temas e conteúdos programáticos têm implicações na metodologia, nas actividades propostas e na estrutura e organização do curso. Após a definição dos conteúdos e dos objectivos gerais e específicos é possível iniciar a elaboração dos guiões e dos materiais didácticos. Esses recursos devem ser diversificados, incluir actividades colaborativas, materiais didácticos interactivos e ferramentas para avaliação online(Mason, 2001). Também devem respeitar a legislação sobre propriedade intelectual e proporcionar oportunidades para a aplicação autónoma dos conhecimentos e competências adquiridas pelos formandos/alunos.

Relativamente ao modelo pedagógico do curso é importante conhecer as concepções de aprendizagem dos formadores, porque elas vão influenciar os métodos e os recursos didácticos que vão ser utilizados. Entretanto, é reconhecida a importância de reforçar a função orientadora do professor e de promover a interactividade entre professor/tutor e alunos(Mason, 2001).

Também devem estar definidos os princípios orientadores no que se refere à flexibilidade no acesso à aprendizagem, ao tipo e qualidade da interacção e o nível de autonomia do aluno na construção do seu conhecimento.

É importante conhecer o papel do tutor na sua dupla função de orientador das actividades académicas e de apoio à superação das dificuldades emotivas e afectivas (desânimo, desmotivação, etc.)

Finalmente, para além da avaliação das aprendizagens e competências dos alunos é importante, de acordo com Donald Kirkpatrick, citado por Lima & Capitão (2003), avaliar o curso online, no que se refere às reacções dos formandos, à qualidade das aprendizagens, à aplicação prática das aprendizagens e aos resultados obtidos, através de instrumentos adequados (indicadores, questionários, etc.).

2.4.5 Plataformas LMS

A utilização das plataformas de gestão de aprendizagem (Learning Management Systems – LMS), possibilita o reforço do trabalho colaborativo e da interactividade e favorece a

motivação e o interesse do formando pelas tarefas formativas, contribuindo para o desenvolvimento de competências, nas Tecnologias da Comunicação e da Informação (Lima & Capitão, 2003). De facto, a utilização da plataforma Moodle (entre outras), como apoio à formação, permite criar um ambiente de trabalho colaborativo, com reforço da interacção entre os formandos através dos fóruns e do acesso a recursos didácticos diversificados (simuladores interactivos, aplicações de geometria, etc.), e possibilitando a formação de portefólios digitais (Alves & Gomes, 2007).

Os sistemas de gestão da aprendizagem incluem diversas funcionalidades para garantirem o suporte administrativo do curso, a gestão dos formadores, formandos e conteúdos (conhecimento).

Entretanto, tem vindo a generalizar-se, fora do âmbito das plataformas LMS, um novo conceito de ensino, apoiado nas tecnologias e designado por Ambiente Pessoal de Aprendizagem (ou Personal Learning Environment – PLE. Nesta modalidade, o usuário (formador ou formando), utiliza um software próprio (Netvibes, entre outros) para agregar diversas ferramentas disponíveis na web, por exemplo, SlideShare para partilhar apresentações, Delicious para construir listas de recursos online, entre outras.

A necessidade de conciliar a utilização das LMS, geralmente associadas à respeitabilidade e segurança da rede interna de uma instituição educativa com o dinamismo e flexibilidade dos PLEs, está na origem de um novo modelo “Open Learning Network - OLN”, que procura uma síntese tecnológica dos dois tipos de plataformas, LMS e PLE (Mott, 2010).

Entretanto, face à grande diversidade de LMS, de acordo com o tipo de licença (software livre ou proprietário), características técnicas, público alvo, etc., para esta formação foi escolhida a plataforma Moodle por ser a que reúne os requisitos exigidos e por ser a que tem maior divulgação em Portugal e no contexto internacional.

A Moodle (Modular Object-Oriented Dynamic Learning Environment) é um sistema de gestão de conteúdos, de distribuição livre (open source) que facilita a gestão de cursos e que possibilita aos professores a criação de comunidades virtuais de aprendizagem.

A plataforma foi construída por Martin Dougiamas em 1999 na Austrália, segundo uma concepção de aprendizagem fundamentada no constructivismo social e disponibilizada sob uma licença GPL (GNU Public License). Caracteriza-se pela sua estrutura modular e por uma extensa rede mundial de programadores, que continuamente a aperfeiçoam. Também disponibiliza uma gama extensa de tutoriais e documentação, em diversas línguas (Alves & Gomes, 2007). É utilizada em instituições privadas e públicas e em centros educativos, de todo o mundo.

Apresenta facilidade de utilização, não necessita de longos períodos de aprendizagem, adapta-se facilmente a pequenas e grandes organizações, é fiável, segura e estável e pode ser executada em diversos sistemas operacionais (Moodle, 2011).

Em Portugal, devido às suas características técnicas e pedagógicas e por ser um produto gratuito, está instalada, em muitas empresas e na generalidade das escolas básicas e secundárias, e tem milhares de utilizadores (Pedro, Soares, Matos, & Santos, 2008).

A Moodle facilita o trabalho dos professores e alunos (e formadores/formandos) na elaboração, preparação e disponibilização dos materiais didácticos, devido a proporcionar uma grande diversidade de recursos e ferramentas, designadamente, materiais, avaliação do curso, chat, diálogo, diário, fórum, glossário, lição, pesquisa de opinião, questionário, SCORM, tarefa, trabalho com revisão e wiki, entre outros.

Os cursos na plataforma Moodle podem ser apresentados, conforme a organização de conteúdos que se pretenda, em três formatos: Social, Semanal e Tópicos. Também é possível criar espaços virtuais de trabalho constituídos por recursos informativos e formativos de diversa natureza. Em qualquer dos casos, a navegação, o acesso e a utilização das diversas ferramentas é intuitiva e de aprendizagem rápida.

Após preencher os requisitos de acesso, o formando acede à página principal onde encontra informação sobre os módulos formativos em que está inscrito.

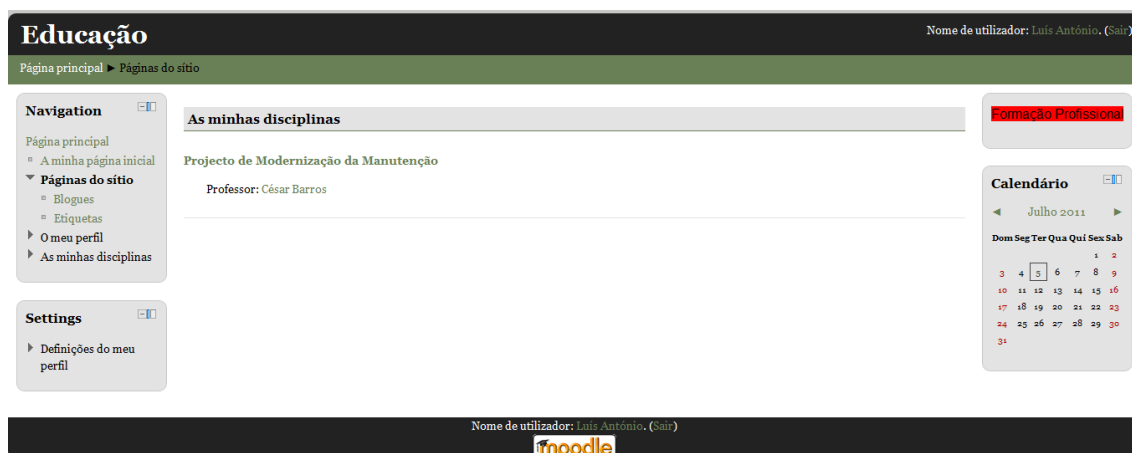


Figura 2-28: Plataforma Moodle - As minha disciplinas

De onde pode aceder à página do seu curso onde encontra todas as informações necessárias ao início da sua actividade.



Figura 2-29: Plataforma Moodle - Lista de tópicos

Nas zonas laterais estão disponíveis informações e recursos complementares, designadamente o bloco “pessoas”, que permite aceder aos participantes no curso. Clicando num dos nomes acede-se à janela de mensagens do moodle e pode-se comunicar com a pessoa pretendida.



Figura 2-30: Plataforma Moodle - Contactos

A mensagem enviada através deste sistema chega ao destinatário através do sistema de mensagens interno do moodle e através do correio electrónico do usuário. Nesta página, também é possível gerir os contactos (inserir, remover contacto, etc.). Relativamente às mensagens é conveniente sublinhar que, conhecida a importância da comunicação e da interacção é essencial que o formando tenha feedback rápido e adequado às suas questões e trabalhos.

Através da opção “definições do menu “perfil“ no bloco inferior esquerdo (Settings), é possível aceder à janela de actualização dos dados pessoais e fazer a actualização da password, por exemplo.

Educação Nome de utilizador: Luís António. (Sair)

Página principal ► Páginas do sítio

Geral

Nome* Luís

Apelido* António

Endereço de correio electrónico* ceaubarr@gmail.com

Ver correio Permitir ver o meu endereço de correio electrónico só a quem estiver inscrito na disciplina ▼

Formato de correio electrónico Formato HTML embelezado ▼

Tipo de sumários de correio Sem sumários (cada mensagem que chega envia-se separada) ▼

Auto-subscrição ao fórum Sim: Quando enviar uma mensagem, subscreva-me no fórum respectivo ▼

Seguimento do fórum Não: não registre quais mensagens já li ▼

Ao editar o texto Usar o editor HTML (apenas para alguns navegadores) ▼

AJAX e Javascript Não: use funcionalidades web básicas ▼

Leitor de ecrã Não ▼

Cidade/Estado* Setúbal

Selecione um país* Portugal ▼

Zona horária Hora local do servidor ▼

Língua preferida Português - Portugal (pt) ▼

Descrição*

Figura 2-31: Plataforma Moodle - Utilizador

Através do bloco “eventos do mês” é possível consultar um mapa com as actividades programadas para cada dia do mês e actualizar os dados e/ou registar um novo evento.

Eventos do mês (em detalhe): PMM

Novo evento

◀ Agosto 2011 Setembro 2011 Outubro 2011 ▶

				1	2	3
4	5	6	7	8	9 Abertura do curso	10
11	12	13	14	15	16	17
18	19	20	21	22	23	24
25	26	27	28	29	30	

Eventos globais mostrado (click para esconder)
 Eventos de grupo mostrado (click para esconder)
 Eventos da disciplina mostrado (click para esconder)
 Eventos do utilizador mostrado (click para esconder)

Chave de eventos

- Global
- Grupo
- Disciplina
- Utilizador

Eventos do mês

Agosto 2011

Dom	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
	1	2	3	4	5
7	8	9	10	11	12
14	15	16	17	18	19
21	22	23	24	25	26
28	29	30	31		

Setembro 2011

Dom	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
				1	2
4	5	6	7	8	9
11	12	13	14	15	16
18	19	20	21	22	23
25	26	27	28	29	30

Outubro 2011

Dom	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex

Figura 2-32: Plataforma Moodle - Eventos

No âmbito da Moodle, entende-se por recursos os elementos que contém informação para ser lida, visualizada ou para descarregar da rede. Alguns exemplos de recursos são: páginas de texto plano, ficheiros carregados no servidor, links para recursos online, páginas web, entre outros. Por actividades, entende-se os trabalhos executados de acordo com os recursos

disponibilizados e podem designar-se por: Tarefas, questionários, Trabalho com revisão, Wikis, entre outras.

No entanto, algumas actividades também podem ser designadas como recursos devido às suas características, por exemplo, os Glossários, Lições, Pesquisa de opinião, entre outras.

Os fóruns têm uma especial importância pois a Moodle está projectada de acordo com o conceito de construtivismo social é nos foros que este conceito é melhor concretizado. Podem existir diversos tipos de fóruns e as intervenções nesses espaços de comunicação são geralmente avaliadas

Com o recurso “Glossário” é possível apresentar as definições dos conceitos-chave da Unidade Didáctica. Com a actividade “Material” o formando pode aceder à informação que o formador preparou para o estudo dos formandos. Através da “Tarefa” o professor pode definir (e classificar) os trabalhos (ensaios, projectos, vídeos, etc.) a realizar pelos formandos. Finalmente, através da “Lição”, o formador pode desenvolver os conteúdos programáticos da Unidade Didáctica.

2.4.6 Aprendizagem

A explicação da aprendizagem é um dos temas mais complexos e mais estudados da psicologia. Embora não exista uma explicação definitiva sobre a aprendizagem, o seu estudo alcançou progressos significativos com o desenvolvimento das teorias de aprendizagem, propostas no século XX, pela psicologia científica.

De entre as diversas definições de aprendizagem salienta-se, por se adequar aos objectivos do presente trabalho, a apresentada no relatório da CNS – Companhia Nacional de Serviços, citada por Peres & Pimenta (2011, p. 14):

“A aprendizagem é um processo de construção pessoal, dinâmico e interactivo, de aquisição de conhecimentos, que apela às experiências passadas, condiciona a actuação no presente e possibilita ao indivíduo reconstruções cognitivas”

Também se salienta a definição apresentada por Rodrigues e Ferrão, citado por Peres & Pimenta (2011, p. 14) que enfatiza a mudança de comportamento na sequência da aprendizagem:

“A aprendizagem consiste num conjunto de mecanismos psicofisiológicos e de operações mentais de ordem cognitiva e emocional, que se caracterizam, em momentos posteriores, em

acontecimentos observáveis. A aprendizagem define-se basicamente, pela ideia de mudança”

Para explicar a aprendizagem do formando (ou do aluno) e para fundamentar determinadas opções no projecto de ambientes informatizados de aprendizagem é necessário o conhecimento das diversas concepções e teorias de aprendizagem, nomeadamente, as seguintes: teorias behavioristas, as teorias cognitivistas, a teoria construtivista de Vygotsky, a teoria biológica da autopoiesis ou da autoprodução(Lopes & Picado, 2010) e a teoria conectivista.

A abordagem comportamentalista (ou behaviorista) considera que o homem é o resultado das influências do meio em que se insere e sugere que no processo de ensino - aprendizagem se devam utilizar reforços e prémios. É uma abordagem favorecedora da introdução de recursos tecnológicos na educação. As aplicações informáticas muito estruturadas encontram suporte nesta abordagem.

A abordagem cognitivista considera que a aprendizagem é o resultado da assimilação do conhecimento na estrutura cognitiva do aluno. É uma abordagem favorecedora de processos de ensino baseados na pesquisa e na resolução de problemas, entre outras estratégias. O modelo de processamento de informação é um bom exemplo desta teoria de aprendizagem.

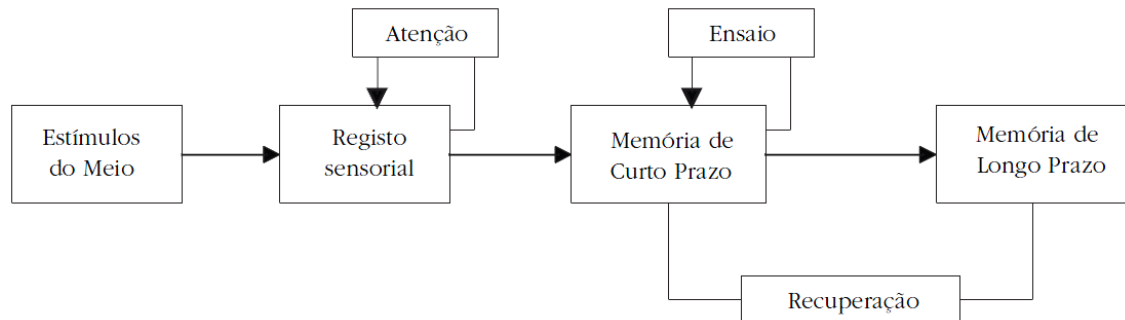


Figura 2-33: Modelo do processamento de informação sobre a aprendizagem - Gagné¹⁷

Para a abordagem contextualista a aprendizagem ocorre em comunidades e o conhecimento resulta da interacção social e cultural. Valoriza a realização de trabalhos de grupo e participação em comunidades, entre outros aspectos.

O Conectivismo, é uma teoria recente, que considera as anteriores teorias desactualizadas face às profundas transformações tecnológicas e outras, ocorridas nos últimos anos. Para esta teoria o conhecimento encontra-se disperso por inúmeras conexões (redes), e aprender consiste em desenvolver a capacidade de as percorrer(Siemens, 2004).

¹⁷ Retirado de (Serra, 2008)

Entretanto, de acordo com diversos autores, as diversas teorias não se excluem, mas antes se complementam. Por exemplo, no contexto da sala de aula, os alunos aprendem conhecimentos, atitudes, hábitos, valores e modos de comportamento. Enquanto que a Teoria Cognitiva explica melhor a aprendizagem de conhecimentos o Behaviorismo dá uma melhor explicação do que ocorre na aprendizagem das atitudes e modos de comportamentos.

Continuando a ser necessária a aprendizagem por repetição/memorização, o professor deve procurar que os alunos realizem aprendizagens significativas, em que o aluno se esforça em relacionar os novos conteúdos com os respectivos conhecimentos prévios.

Entretanto, o desenvolvimento das TIC tem contribuído para uma grande melhoria das condições em que se efectua a aprendizagem. Por exemplo, o programa Cmap Tools¹⁸, baseado nos trabalhos de Novak e Gowin, e que serve para organizar e representar o conhecimento através da realização de mapas conceptuais, diagramas e esquemas é um importante auxiliar para a aprendizagem significativa e para o trabalho colaborativo.

2.4.6.1 Andragogia

Enquanto a pedagogia se orienta para a educação de crianças a andragogia estuda as melhoras formas de ajudar os adultos a aprender. De acordo com a Wikipédia, o modelo andragogico baseia-se nas seguintes características dos adultos: necessidade de saber, autoconceito do aprendiz, papel das experiências, prontidão para aprender, orientação para aprendizagem e motivação.



Figura 2-34: Mapa conceptual – Andragogia¹⁹

¹⁸ <http://cmap.ihmc.us/>

¹⁹ Adaptado de mapa original de Roberto Cavalcanti

2.4.6.2 Motivação

A aprendizagem é influenciada por diversos factores de que se destaca a motivação, que significa processo de activação e orientação do comportamento para satisfazer uma dada necessidade. Numa perspectiva humanista, Maslow hierarquizou as necessidades humanas, em cinco níveis, segundo um princípio de prepotência. De acordo com esse conceito as necessidades de um determinado nível começam a fazer-se sentir quando as do nível anterior se encontram razoavelmente satisfeitas. Por exemplo, de acordo com este autor as necessidades fisiológicas deverão estar satisfeitas antes de surgirem as necessidades de segurança (Valadares Tavares, 2010, pp. 91-95).

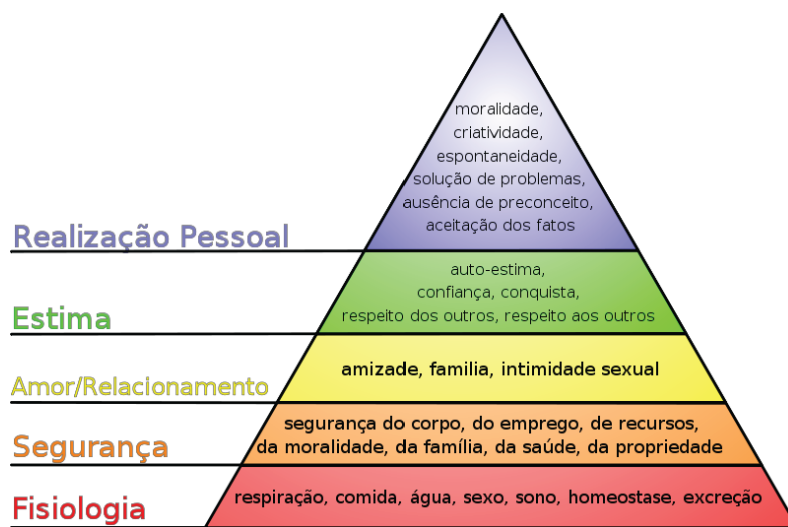


Figura 2-35: Pirâmide de motivações de Maslow²⁰

²⁰ Retirado de Wikipédia

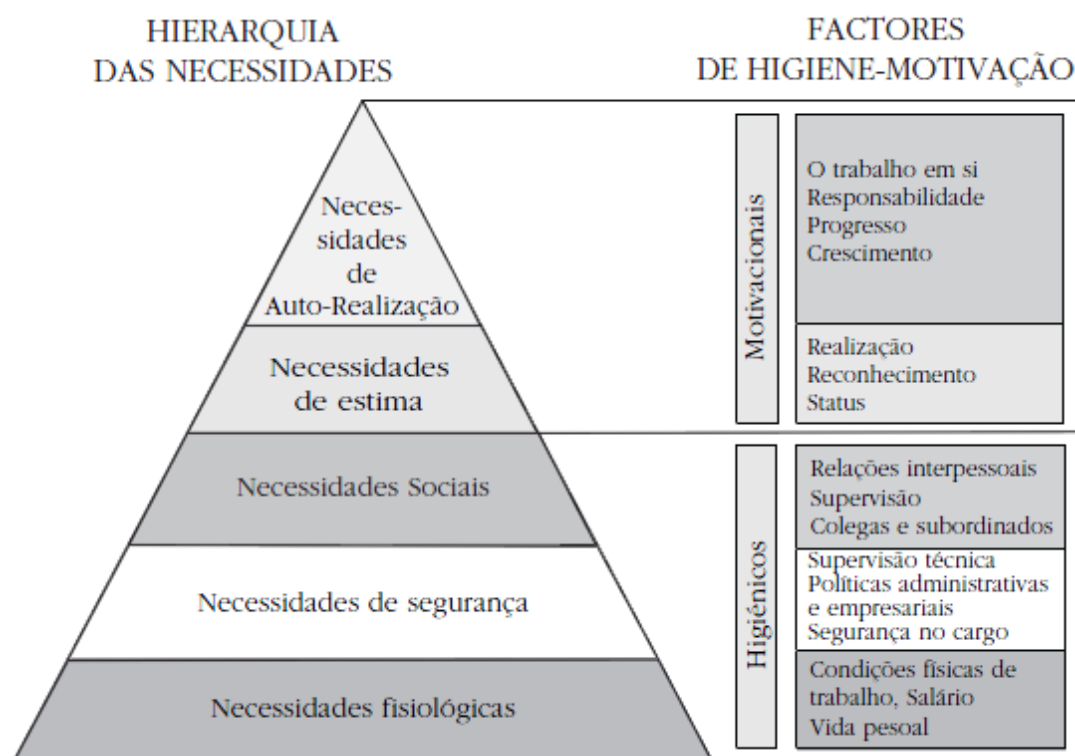


Figura 2-36: Comparação entre as hierarquias das necessidades de Maslow e os factores de Higiene-Motivação de Herzberg²¹

Nas organizações, o conceito de motivação está ligado à necessidade de envolver os trabalhadores nos objectivos empresariais e de interessar e aumentar o seu empenhamento e nível de desempenho (Valadares Tavares, 2010, p. 92).

2.4.7 Métodos pedagógicos

Na realização da actividade educativa e formativa são utilizados diversos métodos pedagógicos. Por método pedagógico entende-se o conjunto de procedimentos utilizados pelo formador para alcançar os objectivos pretendidos.

Os métodos pedagógicos são classificados de acordo com a sua directividade, em métodos directivos e em métodos não directivos. Os métodos directivos, mais centrados no processo de ensino e no formador podem ser classificados, de acordo com a metodologia utilizada, em expositivos, demonstrativos e interrogativos. Os métodos não directivos (ou activos) estão mais centrados no processo de aprendizagem e no formando. Os métodos activos, requerem mais tempo e recorrem a uma maior diversificação de técnicas: tempestade de ideias, desempenho de papéis, simulações, estudo de casos, jogos, projectos, etc.

²¹ Retirado de (Serra, 2008)

Na escolha do método mais adequado são considerados diversos factores, nomeadamente, os seguintes: características dos formandos, competências do formador, tempo e recursos disponíveis e os conteúdos programáticos. Também é importante ter em conta que a proporção de conhecimentos retidos depende do canal utilizado:

Tabela 2-8: Retenção de informação

Canal predominante	Retenção de nova informação (%)
Ouvido	20
Vista	30
Ouvido + Vista	50
Ouvido+Vista+Discussão	70
Ouvido+Vista+Discussão+Acção	90

A investigação tem demonstrado que os métodos activos quando utilizados de forma adequada proporcionam aprendizagem mais eficazes e duradouras.

2.4.7.1 Métodos activos

Os métodos activos são especialmente adequados para formandos adultos e para alunos do ensino superior. Também são os mais adequados para a realização de estudos pela modalidade b-learning.

No âmbito da formação profissional distinguimos os seguintes métodos activos (e progressistas): método de trabalho de projecto (Project Based Learning), aprendizagem baseada em problemas (Problem Based Learning), aprendizagem baseada pela descoberta ou descoberta guiada, o ensino (aprendizagem) baseado na investigação (inquired-based teaching/learning) e a aprendizagem cooperativa, entre outros (Lebrun, 2002, p. 152).

O método pedagógico baseado na resolução de problemas tem vindo a ser aplicado, com bons resultados, por diversas instituições educativa de diversos graus de ensino, para promover a melhoria da sua qualidade educativa e em contextos de inovação educativa e de renovação pedagógica (Lebrun, 2002, p. 156).

Na abordagem da aprendizagem pela resolução de problemas é seguido um procedimento baseado em diversas etapas, designadamente: colocação de uma situação concreta (problema), da vida profissional do formando, para início da actividade; disponibilização de recursos

relevantes e adequados (livros, endereços internet, bases de dados, etc.); resolução da actividade com desenvolvimento de competências de alto nível (observação e análise, construção de hipóteses, pesquisa, avaliação, reflexão, etc.); realização de trabalho interdisciplinar e multidisciplinar, com integração de conhecimentos; ênfase no trabalho em equipa e colaborativo, alternados com períodos de trabalho individual e formas diversas de avaliação e regulação da actividade desenvolvida (Lebrun, 2002, pp. 157,158).

2.4.7.2 *Taxonomia de Bloom*

Na fase de concepção de um curso (b-learning) que envolve a concretização de diversas etapas (especificação dos objectivos; definição das metodologias de avaliação, estruturação da sequência de conteúdos e a definição das estratégias de ensino e aprendizagem) são elaborados dois documentos orientadores do curso (b-learning):

- objectivos, avaliação e sequência de conteúdos
- estratégias de aprendizagem

A definição dos objectivos esclarece todos os intervenientes no curso, designadamente, formandos e formadores sobre o que se pretende atingir com a realização da formação. É habitualmente seguida a taxonomia de Bloom, que agrupa os objectivos educativos (e formativos) nos domínios cognitivo, afectivo e psicomotor (Peres & Pimenta, 2011, p. 40).

No que se refere aos objectivos cognitivos, os mais utilizados nas acções formativas, eles aparecem ordenados em seis níveis: Conhecimentos (memorização de factos específicos, procedimentos e conceitos); Compreensão (atribuição de significado e interpretação de problemas e instruções); Aplicação (utilização do aprendido em novos contextos e situações); Análise (divisão de uma ideia nas diversas partes que a constituem, descrevendo as relações existentes); Síntese (resumo das partes para formar um todo) e avaliação, traduzida na elaboração de julgamentos com base em evidências ou em critérios (Peres & Pimenta, 2011, pp. 41,42).

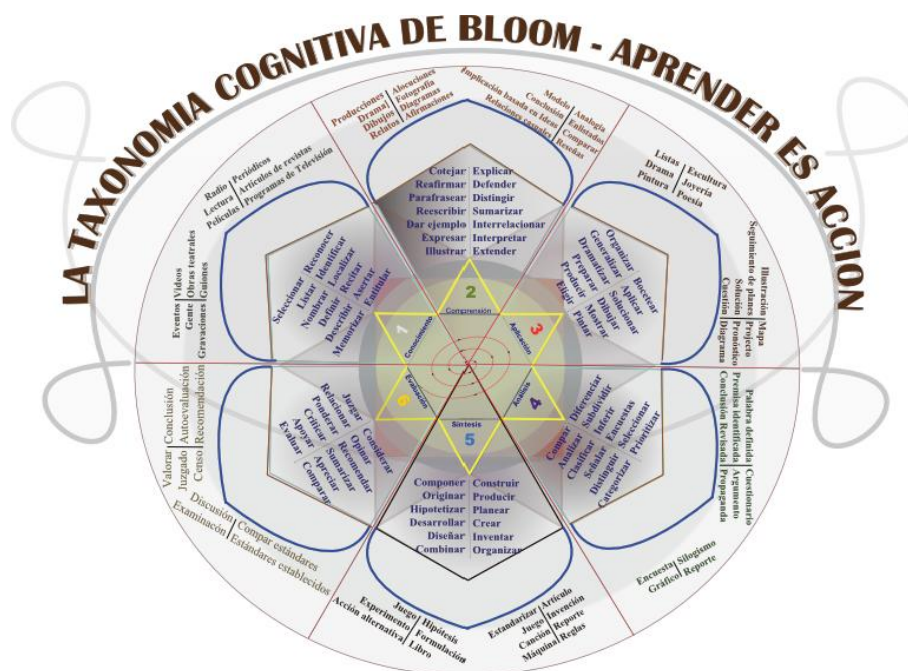


Figura 2-37: O Círculo de Bloom²²

2.4.8 Recursos Didáticos

Um dos aspectos mais importantes no e-Learning, está relacionado com os recursos didáticos. De facto, eles constituem um dos elementos principais de trabalho dos estudantes destes cursos. É grande a diversidade de materiais didáticos geralmente fornecidos a estes estudantes, nomeadamente, recursos audiovisuais, materiais impressos e aplicações interactivas, entre outros (Aretio, 2001).

No entanto, é comum a elaboração de materiais didáticos que não levam em conta os resultados da investigação sobre as regras e princípios a seguir na sua elaboração. Essa lacuna pode prejudicar a qualidade das aprendizagens e o progresso do aluno. Um dos autores que tem estudado este assunto foi Sweller. Este investigador contribuiu para a adequada elaboração de materiais didáticos multimédia, através da realização de estudos experimentais que conduziram à elaboração da Teoria Cognitiva da Aprendizagem Multimédia e que evidenciaram alguns erros seguidos na didáctica e na elaboração de materiais didáticos (Miranda, 2009).

Por exemplo, realizou estudos que demonstraram a vantagem didáctica de, na fase inicial da aprendizagem, os formadores, começarem por explicar exhaustivamente a resolução de um

²² Retirado de Wikipédia

problema/situação de estudo, em vez de proporem uma série de questões após a exposição do método de resolução.

No que se refere à elaboração de materiais didáticos, estudou os efeitos na aprendizagem, da colocação de uma imagem e de um texto explicativos do mesmo conceito. Concluiu que esta redundância é prejudicial à aprendizagem devido a introduzir uma sobrecarga cognitiva.

Quanto à elaboração de materiais educativos multimédia contrariou a tendência para a criação de produtos multimédia com uma grande multiplicidade de recursos visuais e auditivos. A sua investigação, mostrou que esses produtos contém muitos elementos distractivos, que prejudicam a aprendizagem, por sobrecarga cognitiva.

A Teoria da carga cognitiva, destaca-se das restantes teorias, por enfatizar o papel limitador da memória de trabalho, na realização das aprendizagens e no armazenamento, do conhecimento, na memória de longo prazo. De acordo com esta teoria a sobrecarga cognitiva pode ser extrínseca (forma de apresentação dos conteúdos) ou intrínseca (dificuldade dos conteúdos) . Também a falta, de esquemas cognitivos automatizados e adequados à situação de aprendizagem pode favorecer a ocorrência de sobrecarga cognitiva(Miranda, 2009).

Posteriores desenvolvimentos da Teoria da carga cognitiva de Sweller conduziram à definição de diversos princípios e orientações (Princípio de Representação Múltipla, Princípio de Proximidade Espacial, utilização de organizadores gráficos, etc.) , que deverão ser seguidos, para minimizar a ocorrência de sobrecargas cognitivas e permitir a elaboração de eficazes produtos multimédia com finalidades didáticas(Miranda, 2009).

2.4.9 Qualidade dos materiais didáticos

Face à importância dos materiais didáticos para a qualidade do processo de ensino - aprendizagem e aos custos significativos que lhes estão associados é necessário que existam regras e princípios orientadores da sua avaliação. Para fazer a avaliação de um artefacto tecnológico poderão ser utilizados critérios relacionados com a credibilidade do recurso didático, critérios relacionados com os aspectos físicos, de instalação e de funcionamento e critérios relacionados com a sua utilização. Entretanto, Lorenzo Aretio (2001), propõe as seguintes categorias: aspectos técnicos e estéticos, aspectos pedagógicos e critérios económicos.

No que se refere aos recursos educativos digitais devem ser considerados os seguintes critérios gerais de qualidade (Graells, 2003): os autores devem ter credibilidade no domínio a que se referem os materiais e devem ser indicadas as referências utilizadas e os editores e patrocinadores; os recursos devem ser esteticamente agradáveis, motivadores, fáceis de utilizar (compatíveis com os diversos navegadores e de rápido acesso), adequados aos respectivos destinatários e devem disponibilizar sistemas de ajuda; a informação apresentada deve ser recente e actualizada (com a data da última actualização), sem publicidade ou reduzida ao mínimo; os conteúdos disponibilizados devem estar bem estruturados (mapa e sistema de navegação adequados), sem erros ortográficos e ter correcção científica e devem cumprir as normas de acessibilidade desenvolvidas pelo “World Wide Web Consortium”, nomeadamente no que se refere ao acesso dos cidadãos com necessidades especiais.

2.5 Questionários

Um questionário ou conjunto organizado de questões tem por objectivo a recolha de dados e é utilizado em diversos tipos de pesquisa, nomeadamente, nas investigações suportadas em metodologias quantitativas.

Apresenta diversas vantagens: é mais económica, possibilita o anonimato, facilita a realização da inquirição, a sistematização dos resultados, permite a utilização das técnicas estatísticas, promove a objectividade e o rigor e permite formas diversificadas de aplicação: contacto pessoal, por correio postal ou email e online/distribuição electrónica.

No entanto, o rigor nas respostas é prejudicado pelas particularidades dos sujeitos, quanto à compreensão das perguntas, à falta de interesse e de empenho e à falta de sinceridade nas respostas. Uma outra limitação relaciona-se com a baixa taxa de retorno (cerca de 30% do total).

A elaboração de questionários, é uma tarefa complexa que requer o domínio de diversas competências : de organização e planeamento, de redacção adequada das perguntas e de análise estatística, entre outras.

Em geral, não é possível estudar todas as características de uma população, devido a insuficiência de tempo e de recursos. Em consequência, o estudo é efectuado sobre um conjunto seleccionado de elementos (amostra), cuja escolha é efectuada de acordo com um dos dois métodos formais de amostragem: probabilísticos e não probabilísticos.

Os métodos probabilísticos de amostragem são os indicados quando se pretende seleccionar uma amostra representativa e extrapolar os resultados para a população. De acordo com Hill &

Hill (2009), os quatro métodos de amostragem mais utilizados, são: amostragem aleatória simples, amostragem sistemática, amostragem estratificada e amostragem por clusters.

O tamanho da amostra varia de acordo com o tipo de amostragem e o nível de significância, sendo habitual, no caso das investigações baseadas em questionários uma reduzida taxa de retorno o que conduz à definição de procedimentos adicionais que garantam a representatividade da amostra (Hill & Hill, 2009)

É através da codificação que se efectua a medição das propriedades ou características dos objectos de estudo. Essa codificação está facilitada (pré-codificação) nos casos de “resposta fechada” e requer uma operação adicional de codificação (pós-codificação), no caso das questões de “resposta aberta”.

De acordo com os valores das variáveis em estudo, podemos ter os seguintes níveis de medida (e tipos de escalas): nominal, ordinal, intervalar e nível de razão. No nível nominal apenas é possível fazer uma classificação em categorias. No nível ordinal é possível a ordenação, sendo válido o princípio da transitividade. No nível intervalar existe a possibilidade de definir uma unidade de medida “cujas magnitude se mantém constante ao longo de toda a escala”. No nível de razão o valor zero é absoluto (Moreira, 2004)

2.5.1.1 Fiabilidade e validade

Quando se realiza uma investigação apoiada na utilização de questionários é necessário estudar a sua fiabilidade (os dados recolhidos são exactos) e validade (os dados obtidos medem o que se pretende medir), de forma a garantir a credibilidade do trabalho realizado.

Os conceitos de validade e de fiabilidade estão estreitamente relacionados não sendo possível garantir a validade de um questionário sem também assegurar a sua fiabilidade. No entanto a fiabilidade de um questionário não garante a sua validade.

Por fiabilidade de uma investigação entende-se a possibilidade de outros investigadores reproduzirem os resultados obtidos desde que a realizem nas mesmas condições metodológicas.

Para garantir a fiabilidade de um instrumento de investigação são necessários instrumentos adequados e técnicas rigorosas de registo e de recolha de dados.

A avaliação da fiabilidade de um instrumento pode ser efectuada através do cálculo do coeficiente de fiabilidade (correlação entre duas medidas do mesmo atributo) e do índice de fiabilidade (correlação entre a medida e o valor verdadeiro)(Fáisca, 2010).

Para o caso dos questionários a avaliação da sua fiabilidade de um questionário pode ser efectuada através da análise da sua consistência, que pode ser definida de diferentes formas: interna, estabilidade temporal e concordância inter-observadores.

A consistência interna pode ser estimada através do método alfa de Cronbach(Hill & Hill, 2009):

$$\alpha = \frac{k}{k-1} \left(1 - \frac{\sum s_i^2}{S^2} \right) \quad (2.123)$$

Em que k representa o número de itens da escala; s_i^2 representa a variância do item i ; S^2 designa a variância total dos k itens

A estabilidade temporal é estimada aplicando à mesma amostra de pessoas, mas em momentos diferentes, o mesmo questionário. A concordância inter-observadores é estimada aplicando duas versões equivalentes do questionário às mesmas pessoas.

A validade interna de uma investigação é conseguida através do rigor e precisão dos resultados obtidos, isto é, em que medida os resultados e conclusões representam ou explicam a realidade que está a ser estudada. A validade externa é conseguida quando é possível generalizar, à população, os resultados obtidos através da amostra.

Face à complexidade do conceito não é suficiente afirmar que um questionário tem uma elevada validade. É necessário concretizar a que validade nos estamos a referir. Por exemplo, podemos afirmar que o questionário tem uma elevada validade preditiva, isto é, os resultados obtidos numa variável, através do questionário, podem ser utilizados para prever os resultados de outra variável.

De facto, podemos ter de acordo com Manuela Hill & Hill (2009) três tipos básicos de validade: validade teórica, validade prática e validade de conteúdo.

A validade teórica (de conceito, validade conceptual, ou de constructo, ...) estabelece a capacidade do questionário para medir um constructo abstracto ou teórico relacionado com a situação problemática do estudo. Um bom domínio dos conceitos do domínio científico em que se insere o estudo é essencial para poder elaborar um questionário com validade teórica. De acordo com os métodos de medida podemos ter: validade convergente, validade discriminante e validade factorial.

A validade prática (ou validade de critério) de um instrumento está relacionada com a sua aplicabilidade no que se refere à resolução de problemas práticos e à tomada de decisão. E depende da utilização de um outro questionário (critério) com validade e garantia

estabelecidos. São geralmente utilizados os métodos de validade preditiva e de validade simultânea (ou concorrente). Na validade concorrente são aplicados dois questionários (o que se pretende testar e o critério), enquanto na validade preditiva a aplicação dos dois questionários é efectuada várias vezes ao longo do tempo. Em ambos os casos é efectuada uma análise de correlação aos resultados obtidos.

A validade de conteúdo (ou validade lógica) de um questionário está relacionada com a representatividade dos itens do questionário. O conjunto dos itens que constituem o questionário devem constituir uma amostra representativa de todos os itens disponíveis para medir as características que se pretendem estudar.

Também se fala por vezes em validade facial (ou validade aparente) com o significado de que o questionário parece medir aquilo que pretende medir.

2.6 Formação profissional

A formação profissional e a educação e formação de adultos têm, em Portugal, uma história longa e diversificada, desde a reforma do ensino técnico ocorrida em 1947 e da criação em 1962 do Fundo de Desenvolvimento da Mão-de-Obra e do Instituto de Formação Profissional Acelerada.

Actualmente, a formação profissional é orientada pelo regime jurídico do Sistema Nacional de Qualificações (SNQ), aprovado pelo Decreto-Lei n.º 396/2007 e outra legislação em vigor. Para além de definir os objectivos do SNQ, este diploma cria o Catálogo Nacional de Qualificações e a Caderneta Individual de Competências. Também são estabelecidas diversas modalidades de formação e são criados os Referenciais de Formação e os Centros de Novas Oportunidades para o Reconhecimento, Validação e Certificação de Competências.

Entre outros objectivos, pretende-se assegurar que a formação seja relevante para o desenvolvimento pessoal e para a melhoria da competitividade das empresas e tenha consequências na progressão académica e profissional dos formandos.

Também o código do trabalho aprovado pela Lei n.º 99/2003 de 27 de Agosto, trata da formação profissional, estabelecendo no número um, do artigo 125º, que:

“No âmbito do sistema de formação profissional, compete ao empregador:

- a) Promover, com vista ao incremento da produtividade e da competitividade da empresa, o desenvolvimento das qualificações dos respectivos trabalhadores, nomeadamente através do acesso à formação profissional;*
- b) Organizar a formação na empresa, estruturando planos de formação e*

aumentando o investimento em capital humano, de modo a garantir a permanente adequação das qualificações dos seus trabalhadores;
c) Assegurar o direito à informação e consulta dos trabalhadores e dos seus representantes, relativamente aos planos de formação anuais e plurianuais executados pelo empregador;
d) Garantir um número mínimo de horas de formação anuais a cada trabalhador, seja em acções a desenvolver na empresa, seja através da concessão de tempo para o desenvolvimento da formação por iniciativa do trabalhador;
e) Reconhecer e valorizar as qualificações adquiridas pelos trabalhadores, através da introdução de créditos à formação ou outros benefícios, de modo a estimular a sua participação na formação.”

Essa obrigação abrange todo o universo de empresas, desde as empresas multinacionais às Pequenas e Médias Empresas (PME).

As PME, constituídas por empresas com menos de 250 empregados e com um volume de negócios anual não superior a 50 milhões de euros ou cujo balanço anual não excede 43 milhões de euros, são dominantes (cerca de 99,6%), no conjunto das empresas nacionais. Apesar de empregarem mais de metade dos trabalhadores (55,2%), apenas 25% dos trabalhadores participam em acções de formação profissional (Carvalho J. A., 2010).

O fraco desempenho das empresas portuguesas, nomeadamente das PME, na formação profissional, prejudica a sua competitividade e o desenvolvimento pessoal e profissional dos seus trabalhadores.

Também no âmbito europeu existe uma preocupação generalizada sobre esta problemática. Por exemplo, no “*Memorando sobre Aprendizagem ao Longo da Vida*”, da Comissão Europeia, são enunciadas acções a prosseguir, neste domínio: novas competências básicas para todos, mais investimento em recursos humanos, inovação no ensino e na aprendizagem, maior valorização da aprendizagem, repensar as acções de orientação e consultoria e aproximar a aprendizagem dos indivíduos (Europeia, Memorando sobre Aprendizagem ao Longo da Vida, 2000).

No que se refere ao “*investimento em recursos humanos*” e à “*inovação no ensino e na aprendizagem*” são assinalados os benefícios da aplicação das TIC aos processos de ensino e aprendizagem e à necessidade de dar preferência aos métodos activos de aprendizagem.

A utilização do b-learning (e b-learning) é uma forma de concretizar essa orientação, devido a constituir uma resposta formativa, flexível, baseada nas tecnologias da informação e comunicação e especialmente adequada para a aplicação de modelos pedagógicos e de aprendizagem activos e centrados no estudante/formando (Aretio, Corbella, & Figaredo, 2007).

2.6.1 Análise de modelos de formação

Diversas entidades têm realizado acções de formação profissional à distância com resultados diferenciados de acordo com o modelo de formação utilizado, a qualidade dos recursos didácticos e os métodos pedagógicos, entre outros factores. No âmbito da formação profissional à distância destacam-se as seguintes instituições: Centro de Formação a Distância da Marinha, PT-Inovação, Universidade de Aveiro, Instituto de Soldadura e Qualidade, Dislogo da Universidade Católica, Universidade Aberta, Instituto de Formação Bancária e Centro de formação da CGTP-IN.

Devido ser uma instituição frequentada por um elevado número de formandos, ao longo de um número significativo de anos, foram escolhidos para análise dois modelos de aprendizagem a distância, no âmbito da formação profissional, implementados no Centro de formação da CGTP-IN.

Criado em 1986 esse centro realizou entre 1994 e 1998, cerca de 200 000 horas de formação profissional presencial a 10 000 formandos, no âmbito de 800 cursos de formação. Em 1999, esta organização, criou diversos cursos de formação profissional (à distância) para trabalhadores de escolaridade igual ou superior ao nono ano de escolaridade(Rosa, 2002).

O modelo de aprendizagem utilizado nos primeiros cursos à distância desta instituição foi muito influenciado pela experiência adquirida nos cursos presenciais e caracterizava-se por ter uma estrutura modular, com uma duração média de 6 meses, intercalando formação à distância com sessões presenciais ao sábado, para a leccionação de conteúdos programáticos e fazer a avaliação presencial. Para além do software *First Class* para apoiar o auto-estudo também se disponibilizavam centros de estudo, em várias zonas do país, com ligação à internet e apoio tutorial. A avaliação tinha por base as actividades enviadas pelo formando e os resultados da avaliação presencial.(Rosa, 2002)

O balanço dos primeiros quinze cursos, realizados em 1999/2000, foi negativo, tendo os formandos criticado a metodologia utilizada nos referidos cursos. De facto, o ensino estava centrado no formador e nos conteúdos, privilegiando a sua transmissão (de conteúdos) em prejuízo da experiência e dos objectivos profissionais dos formandos. A aplicação deste modelo de aprendizagem, favorecia a passividade e a dependência dos formandos e levou à frustração e à desistência de diversos formandos(Rosa, 2002).

Reflectindo sobre a experiência anterior foi ensaiado um novo modelo de aprendizagem, que relativamente ao anterior, se destacava por apresentar aos formandos, no início do curso, um projecto-tipo, que exigia a aquisição e aplicação dos saberes constantes no programa do curso.

Em cada módulo, o formando teria de executar uma parte do seu projecto individual (baseado no projecto-tipo), com a ajuda do respectivo formador. No início de cada módulo o formando realizava uma actividade à distância correspondente a uma parte do seu projecto individual, apoiado pelo formador (esclarecimento de dúvidas e feedback). Verificou-se uma redução do número de desistências, um aumento na participação e uma melhoria nos resultados de aprendizagem. De facto, neste novo modelo, a aprendizagem era mais significativa e motivadora devido a estar centrada no formando e nos seus interesses profissionais (Rosa, 2002).

MAPA CONCEPTUAL DOS MODELOS DE APRENDIZAGEM A DISTÂNCIA ESTUDADOS

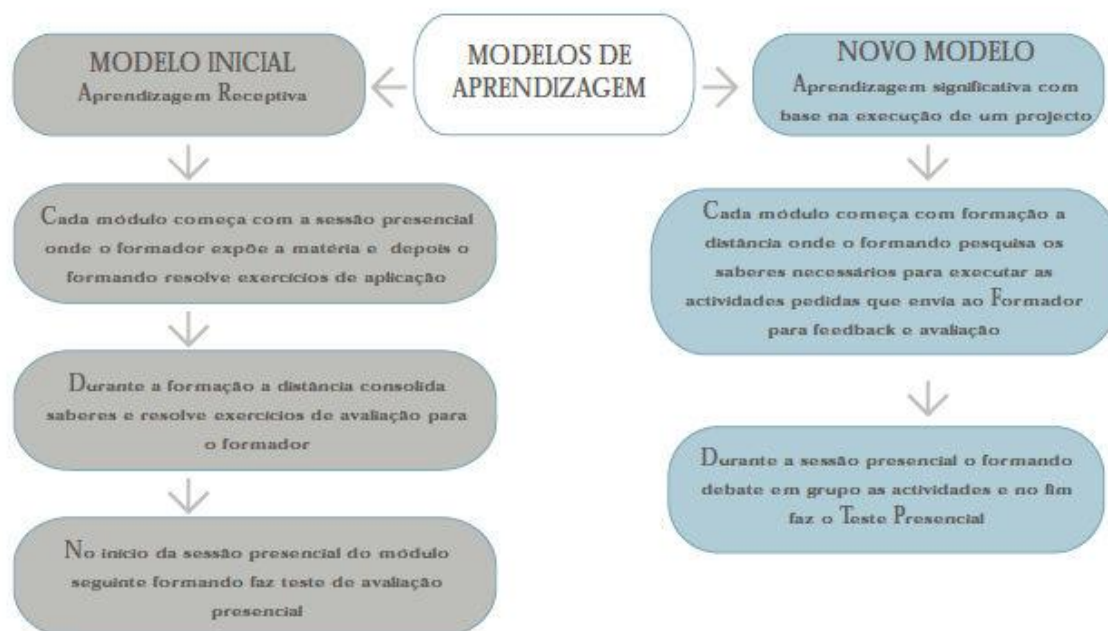


Figura 2-38: Modelos de aprendizagem à distância²³

2.7 Articulação com o ensino formal

De acordo com Siemens um dos teóricos do Conectivismo (Siemens, 2004) : “*Informal learning is a significant aspect of our learning experience. Formal education no longer comprises the majority of our learning. Learning now occurs in a variety of ways – through communities of practice, personal networks, and through completion of work-related tasks.*”

²³ Retirado de (Rosa, 2002)

Ao longo da vida o indivíduo realiza aprendizagens formais através do sistema educativo e efectua aprendizagens informais, no contexto da sua vida profissional, social e cultural. Embora o ensino formal ofereça programas educativos adequados à reciclagem e à obtenção de novas competências profissionais, a maior parte da educação permanente é efectuada no local de trabalho, em casa de forma autodidáctica, durante a ocupação de tempos livres, ou na participação em comunidades de prática e em redes sociais.

A obtenção de competências através da aprendizagem informal pode ser optimizada através de processos de reconhecimento, validação e certificação (RVCC) de competências. Desta forma, promove-se um melhor aproveitamento dos recursos humanos e favorece-se o desenvolvimento pessoal e profissional da população activa.

O conceito de competência integra simultaneamente os conteúdos, as actividades a executar e as situações onde elas acontecem. De acordo com De Ketele, citado por Roegiers & De Ketele (2004, p. 45), a competência é:

“um conjunto ordenado de capacidades (actividades) que são exercidas sobre os conteúdos numa determinada categoria de situações para resolver problemas apresentados por estas”

Nesta definição são explicitados as três componentes de uma competência (conteúdo, capacidade e situação). Também Le Boterf (ibidem, p.46) apresenta uma definição de competência utilizando a noção de recursos (raciocínios, esquemas, etc.):

“competência é um saber agir, isto é, um saber integrar, mobilizar e transferir um conjunto de recursos (conhecimentos, saberes, aptidões, etc.) num contexto para encarar os diferentes problemas encontrados ou para realizar uma tarefa”

Num entendimento mais abrangente e num contexto empresarial a competência traduz-se (Pereira de Almeida & Rebelo, 2011, p. 17): *“pela posse de qualificações múltiplas que ultrapassam o posto de trabalho e que tendem a substituir progressivamente as qualificações de carácter mais técnico, permitindo a polivalência do trabalhador e conferindo-lhe capacidades determinantes para a sua valorização na empresa”*.

Para reforçar a motivação dos trabalhadores pelo seu desenvolvimento profissional, as empresas devem fazer a articulação com os organismos estatais para procurar que os estudos efectuados pelos seus colaboradores possam ser validados e certificados pelas autoridades nacionais.

A adopção pelas empresas dos Referenciais de Formação publicados pela Agência Nacional para a Qualificação, permite, entre outros objectivos²⁴, *contribuir para produção de qualificações e de competências críticas para a competitividade e modernização da economia; promover a elevação das competências necessárias ao desenvolvimento dos indivíduos, à promoção da coesão social e ao exercício dos direitos de cidadania e promover a certificação das competências independentemente das vias de acesso à qualificação.*

Entretanto, as próprias empresas (têm ou) necessitam de ter documentos que as orientem na gestão dos recursos humanos e no desenvolvimento das competências e que explicitem as escolhas da organização e das competências-chave, face aos seus objectivos estratégicos e identificar e operacionalizar os instrumentos de reconhecimento dessas competências (ibidem, p.71-78).

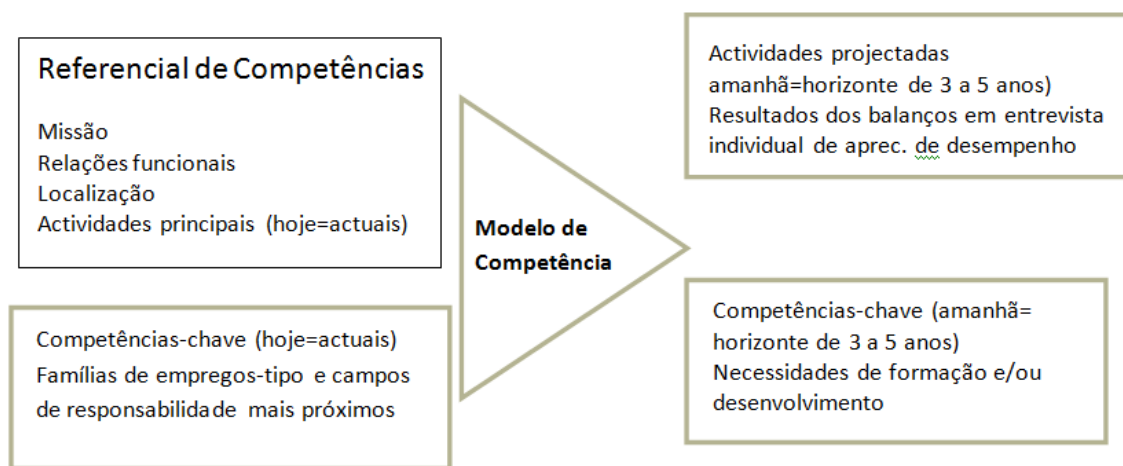


Figura 2-39: Referencial de competências

A existência de um modelo de competência favorece a plasticidade e a fluidez das competências, contribui para a melhoria do clima empresarial e promove um maior empenho dos trabalhadores pelos objectivos da empresa (ibidem, p.79).

2.8 Formação em Manutenção

O conceito de “*learning organization*”, ou de organização que aprende de forma continuada, tem vindo a ser aplicado por muitas empresas e consiste na valorização da formação e da aprendizagem enquanto objectivos permanentes e centrais da empresa (Neves, 1989).

²⁴ Portaria n.º 781/2009 de 23 de Julho

No âmbito do projecto *iLearn2Main*²⁵ têm vindo a ser realizadas formações, dirigidas a profissionais de Manutenção, com a utilização da plataforma Moodle (Emmanouilidis, Labib, Franlund, Dontsiou, Elina, & Borcos, 2009).

The screenshot displays the iLearn2Main Moodle interface. At the top, the logo 'iLEARN2MAIN' is visible with the tagline 'INDUSTRIAL TRAINING SYSTEM FOR MODERN ENTERPRISE MAINTENANCE'. The page is divided into a left sidebar and a main content area. The sidebar includes a 'Main Menu' with a link to 'iLearn2Main Workspace', a 'Calendar' for September 2009, and 'Online Users' (currently none). The main content area, titled 'Course categories', lists three modules: '1. Performed activities on the assets (Asset Care)', '2. Asset Performance Evaluation', and '3. Management/Economy of Assets'. Each module has a list of sub-topics with information icons. A search bar is located at the bottom of the main content area.

Figura 2-40: Currículo do curso iLearn2main²⁶

O currículo do curso integra três módulos, relacionados com a manutenção, avaliação e gestão dos equipamentos. Os conteúdos foram elaborados pelas empresas Atlantis Emgineering, University of Portsmouth, Utek A.B. e Athena R.C.

²⁵ www.ilearn2main.eu

²⁶ Retirado de <http://www.ilearn2main.eu/moodle/>

A estrutura de cada módulo inclui (basicamente), uma introdução, um desenvolvimento teórico, um estudo de caso, questões para avaliação, um glossário e referências seleccionadas.

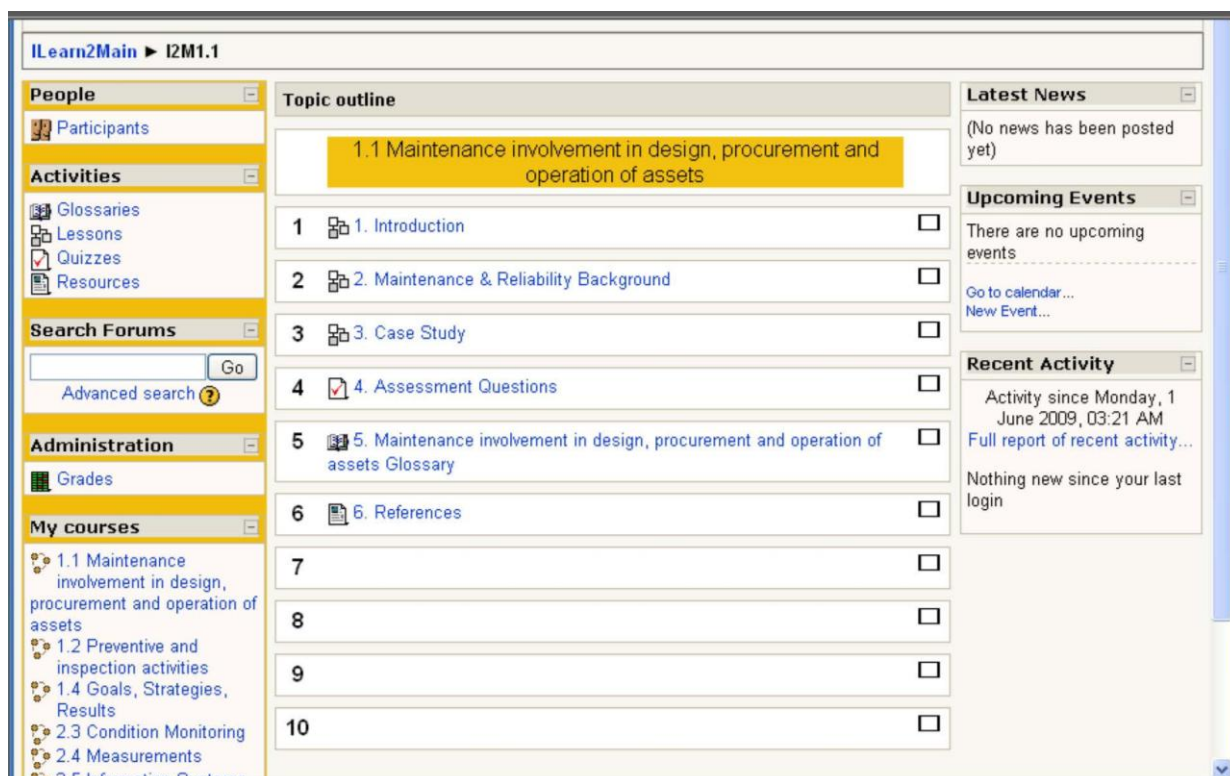


Figura 2-41: Estrutura e ferramentas dos curso Ilearn2main²⁷

A avaliação e certificação de competências é realizado de acordo com o seguinte procedimento:

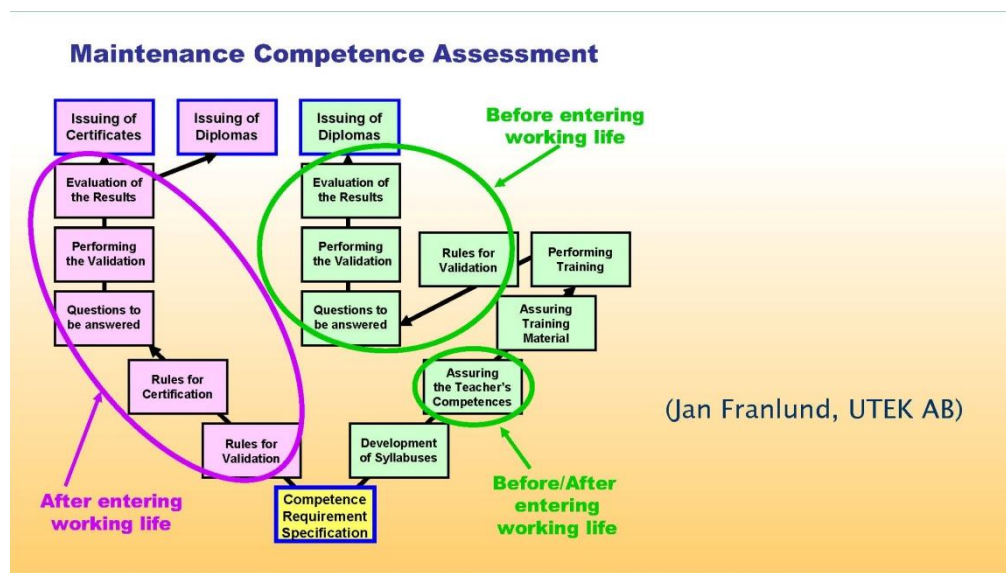


Figura 2-42: Avaliação do curso Ilearn2main²⁸

²⁷ Retirado de <http://www.ilearn2main.eu/moodle/>

²⁸ Retirado de <http://www.ilearn2main.eu/moodle/>

3 Proposta

Utilizando uma plataforma de gestão de aprendizagem pretende-se com esta proposta apresentar um modelo de formação contínua, dos operadores de produção e técnicos de manutenção de instalações industriais, que responda às questões de investigação colocadas no início deste trabalho.

É considerado como referência uma empresa hipotética que envolvida num processo de modernização pretende melhorar os seus resultados através da redução do desperdício e das horas de imobilização dos equipamentos produtivos.

Estabeleceu para esta formação os objectivos de melhorar as suas competências e qualificações profissionais e de esclarecer e promover o interesse e empenho dos seus colaboradores para o novo modelo organizativo da manutenção, metas de qualidade, entre outros objectivos.

A audiência do curso é constituída por operadores de produção e por técnicos de manutenção, com experiência profissional de formação académica de nível não superior, habilitados com o ensino básico, com regime de trabalho por turnos e sem experiência na frequência de cursos online, embora disponham, de computadores e acesso internet. A temática inclui o esclarecimento sobre o e-Learning e desenvolvimento de competências profissionais nos domínios da Qualidade, Fiabilidade e Manutenção.

As características destes temas requerem, para além da formação teórico-prática através da plataforma a realização de actividades presenciais, numa modalidade mista de formação, online e presencial, denominada de *b-learning*.

Para promover a motivação dos seus empregados e a melhoria das suas qualificações, a empresa, vai articular a realização da formação, com as entidades oficiais, através de um Centro de Novas Oportunidades, para que os trabalhadores, sem o diploma do curso secundário, aproveitem esta oportunidade e iniciem um processo de Reconhecimento, Validação e Certificação de Competências de Nível secundário (12º ano), de certificação das competências profissionais ou de dupla certificação (escolar + profissional) de acordo com a legislação em vigor.

3.1 Organização da formação

Para poder concretizar o curso procedeu-se à instalação da plataforma Moodle no sítio Web, com o endereço: <http://www.myeduca.org/moodle/> e password: fct

Após o download do ficheiro de instalação (última versão), procedeu-se à sua descompressão e carregamento no servidor. Depois de criada a base de dados no sistema de gestão MySQL, efectuou-se a instalação da plataforma Moodle.

Com o título *Modernização da Manutenção (MM)*, o primeiro módulo de formação, inclui as Unidades Didácticas²⁹:

- 1) Introdução ao e-Learning
- 2) Manutenção, qualidade e fiabilidade

Com os objectivos gerais de :

- Desenvolver nos formandos competências de acesso e de utilização da plataforma Moodle
- Proporcionar informação sobre as grandes questões da manutenção
- Desenvolver nos formandos competências de reflexão sobre os problemas da manutenção e de aplicação de melhoria da disponibilidade dos equipamentos
- Proporcionar informação sobre a Manutenção Produtiva Total
- Desenvolver nos formandos competências de reflexão e de aplicação da manutenção autónoma
- Proporcionar informação sobre a lubrificação, segurança no trabalho e a protecção do ambiente
- Desenvolver nos formandos competências de reflexão e de aplicação da manutenção autónoma
- Proporcionar informação sobre a Manutenção preditiva e inspecções.
- Desenvolver nos formandos competências de reflexão e de realização de inspecções e manutenção condicionada
- Proporcionar informação sobre os conceitos fundamentais do cálculo de probabilidades, de Fiabilidade e Qualidade.
- Desenvolver nos formandos competências de cálculo de probabilidades e de avaliação da fiabilidade.

A formação nestas áreas, com os objectivos referidos, interessa às empresas industriais devido a permitir: melhorar as competências dos trabalhadores, aprofundar o conhecimento da empresa, proporcionar condições para a discussão em grupo dos problemas técnicos e organizativos da empresa e possibilitar a certificação parcial dos trabalhadores.

No entanto, apenas se apresentam os objectivos gerais e o referencial de competências, para permitir o ajustamento às necessidades específicas de cada empresa e às características dos

²⁹ Disponibilizadas no CD que acompanha o presente trabalho

formandos. No início da formação os formadores realizarão actividades de diagnóstico das competências básicas dos formandos designadamente no que se refere à Literacia informática, expressão oral e escrita e competências matemáticas e de cálculo.

Esta formação terá características profissionais e será efectuada à distância com algumas sessões presenciais. Semanalmente os formandos reúnem-se durante uma hora, dentro do horário de trabalho, para fazer o ponto de situação e discutir as dificuldades encontradas. Estas sessões presenciais serão dinamizadas pelo respectivo professor/tutor.

Para o módulo seleccionado, é disponibilizado um manual didáctico, elaborado com base na revisão da literatura e fichas de exercícios e problemas. No decorrer da formação, cada formador fornecerá outros recursos didácticos, designadamente, uma apresentação/síntese da lição, um enunciado de um estudo de caso, vídeos educativos obtidos no You tube, um plano com a calendarização semanal dos eventos e actividades a realizar pelos formandos, um glossário com os conceitos-chave de cada módulo, um questionário de auto-avaliação, uma selecção de endereços de recursos online para recursos de apoio e complementares e propostas de actividades individuais e de grupo

Será adoptada uma metodologia estimuladora do debate, do trabalho em grupo e da interacção entre os diversos participantes da formação.

A apresentação do curso e a leccionação das lições poderá ser efectuada com recurso ao sítio <http://www.wiziq.com/> , que permite a realização de vídeo-conferências com a inclusão de apresentações e a sua reconstituição.

3.2 Articulação com o ensino formal

Para possibilitar a articulação com o ensino formal (e o prosseguimento de estudos) foram analisados os referenciais de competências - chave para a Educação e Formação de Adultos de Nível Secundário (RVCC escolar), das diversas áreas de competências-chave, designadamente de *Sociedade, Tecnologia e Ciência*, orientadores do processo de Reconhecimento, Validação e Certificação de Competências. Este referencial também integra as áreas de *Cidadania e Profissionalidade e Cultura, Língua e Comunicação*(Gomes M. d., 2006).

Comparando as competências referidas na formação proposta com as que constam no referencial de competências de nível secundário (prosseguimento de estudos), da área de Sociedade, Tecnologia e Ciência (STC), conclui-se que:

Tabela 3-1: UFCD STC 1 - Competências e conteúdos

UFCD	Designação	Competências/Resultados de aprendizagem	Conteúdos
STC-1	Equipamentos – princípios de funcionamento	<ul style="list-style-type: none"> ❖ Opera com equipamentos e sistemas técnicos em contextos domésticos, identificando e compreendendo as suas normas de boa utilização e os seus diferentes utilizadores. ❖ Opera com equipamentos e sistemas técnicos em contextos profissionais, identificando e compreendendo as suas normas de boa utilização e seus impactos nas organizações. ❖ Interage com instituições, em situações diversificadas, discutindo e solucionando questões de teor técnico para a reparação ou melhor utilização de equipamentos e sistemas técnicos. ❖ Compreende e apropria-se das transformações nos equipamentos e sistemas técnicos. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Processos socio-históricos de apropriação dos equipamentos e sistemas técnicos 2. Dimensões científicas da aquisição, utilização e gestão dos equipamentos e sistemas técnicos 3. Aspectos do raciocínio matemático fundamentais para a utilização e gestão de

Existe uma grande identificação das competências/resultados de aprendizagem desta Unidade de Formação de Curta Duração (UFCD), com os objectivos do Módulo 1 da formação, Modernização da Manutenção- MM, e com a actividade profissional de grande parte dos formandos.

Tabela 3-2: UFCD STC 2 - Competências e conteúdos

UFCD	Designação	Competências/Resultados de aprendizagem	Conteúdos
STC-2	Sistemas Ambientais	<ul style="list-style-type: none"> ❖ Promove a preservação e melhoria da qualidade ambiental, através de práticas quotidianas que envolvem preocupações com o consumo e a eficiência energética. ❖ Pondera a aplicação de processos de valorização e tratamento de resíduos nas medidas de segurança e preservação ambiental. ❖ Diagnostica as tensões institucionais entre o desenvolvimento e a sustentabilidade, relativamente à exploração e gestão de recursos naturais. ❖ Interpreta as transformações ambientais ao longo dos tempos, sob diferentes pontos de vista, incluindo as suas consequências nas dinâmicas sociais e populacionais. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Perspectivas político-geográficas sobre o ambiente e, em particular, a exploração e gestão dos recursos naturais 2. Dimensão física e química dos sistemas ambientais 3. Conceitos matemáticos para o diagnóstico e intervenção de sistemas ambientais

Verifica-se que um dos temas da formação MM, “Problemas Ambientais” trata de assuntos relacionados com esta UFCD.

Tabela 3-3: UFCD STC 3 - Competências e conteúdos

UFCD	Designação	Competências/Resultados de aprendizagem	Conteúdos
STC-3	Saúde – comportamentos e instituições	<ul style="list-style-type: none"> ❖ Adopta cuidados básicos de saúde em função de diferentes necessidades, situações e contextos de vida. ❖ Promove comportamentos saudáveis e medidas de segurança e prevenção de riscos, em contexto profissional. ❖ Reconhece diversas componentes científicas e técnicas na tomada de decisões racionais no campo da saúde, na sua interacção com elementos éticos e/ou políticos. ❖ Previne patologias, tomando em consideração a evolução das realidades sociais, científicas e tecnológicas. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Modos psicológicos de relação com o corpo, quer nas rotinas de prevenção de riscos quer na resposta a crises originadas por doenças próprias ou de pessoas dependentes 2. Transformações históricas da forma como os indivíduos se representam e actuam sobre si mesmos e sobre terceiros, nos cuidados de higiene e saúde 3. Processos biológicos e fisiológicos que sustentam a vida 4. Conteúdos matemáticos para a adopção de cuidados

Relativamente à UFCD STC-3, apenas existe (alguma) relação de similitude nos conteúdos matemáticos (ambas abordam as probabilidades e a estatística).

Tabela 3-4: UFCD STC 4 - Competências e conteúdos

UFCD	Designação	Competências/Resultados de aprendizagem	Conteúdos
STC-4	Relações Económicas	<ul style="list-style-type: none"> ❖ Organiza orçamentos familiares, tendo em conta a influência dos impostos e os produtos e serviços financeiros disponíveis. ❖ Aplica princípios de gestão de recursos na compreensão e melhoria do funcionamento de organizações produtivas (públicas ou privadas). ❖ Perspectiva a influência dos sistemas monetários e financeiros na economia e na sociedade. ❖ Compreende os impactos dos desenvolvimentos sociais, tecnológicos e científicos, nos usos e gestão do tempo. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Dimensão socio-antropológica da organização das actividades produtivas e sua relação com as estruturas culturais 2. Dimensão económica das organizações produtivas e das sociedades 3. Técnicas contabilísticas elementares para a gestão de unidades produtivas e de agrupamentos familiares 4. Conteúdos matemáticos fundamentais para a gestão corrente de unidades produtivas e

Relativamente à UFCD STC-4, poderá existir alguma relação nos aspectos gerais relacionados com aspectos tecnológicos, organizativos e de gestão.

Tabela 3-5: UFCD STC 5 - Competências e conteúdos

UFCD	Designação	Competências/Resultados de aprendizagem	Conteúdos
STC-5	Redes de Informação e Comunicação	<ul style="list-style-type: none"> ❖ Entende as utilizações das comunicações rádio em diversos contextos. ❖ Perspectiva a interacção entre a evolução tecnológica e as mudanças nos contextos organizacionais, bem como nas qualificações profissionais. ❖ Discute o impacto dos media na construção da opinião pública. ❖ Relaciona a evolução das redes tecnológicas com a transformação das redes sociais. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Aspectos socio-económicos do desenvolvimento e da implementação das tecnologias da informação e da comunicação 2. Elementos tecnológicos centrais que estruturam o funcionamento dos sistemas de informação e comunicação 3. Conhecimentos científicos e matemáticos fundamentais para a compreensão e boa utilização das tecnologias da informação e da comunicação

Relativamente à UFCD STC-5, algumas competências associadas à primeira unidade didáctica: Introdução ao e-Learning e à plataforma Moodle, poderão relacionar-se com esta UFCD.

Tabela 3-6: UFCD STC 6 - Competências e conteúdos

UFCD	Designação	Competências/Resultados de aprendizagem	Conteúdos
STC-6	Modelos de Urbanismo e Mobilidade	<ul style="list-style-type: none"> ❖ Associa conceitos de construção e arquitectura à integração social e à melhoria do bem-estar individual. ❖ Promove a qualidade de vida através da harmonização territorial em modelos de desenvolvimento rural ou urbano. ❖ Compreende os diferentes papéis das instituições que trabalham no âmbito da administração, segurança e território. ❖ Reconhece diferentes formas de mobilidade territorial (do local ao global), bem como a sua evolução. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Processos de mudança fundamentais na geografia das populações, em particular, os intensos fluxos de migração, emigração e imigração que ocorreram no território português, desde o início do século XX 2. Princípios psicológicos associados à integração e bem-estar, com enfoque nos contextos de desenvolvimento e nos processos de mudança de meio envolvente 3. Conceitos fundamentais nos processos de construção do espaço de vivência

Relativamente à UFCD STC-6, não se encontram relações evidentes com a formação MM .

Tabela 3-7: UFCD STC 7 - Competências e conteúdos

UFCD	Designação	Competências/Resultados de aprendizagem	Conteúdos
STC-7	Saberes Fundamentais	<ul style="list-style-type: none"> ❖ Reconhece os elementos fundamentais ou unidades estruturais e organizativas que baseiam a análise e o raciocínio científicos. ❖ Recorre a processos e métodos científicos para actuar em diferentes domínios da vida social. ❖ Intervém racional e criticamente em questões públicas com base em conhecimentos científicos e tecnológicos. ❖ Interpreta leis e modelos científicos, num contexto de coexistência de estabilidade e mudança. 	<p>1. Conceitos nucleares para a compreensão e desenvolvimento dos vários ramos das ciências</p> <p>2. Aspectos metodológicos elementares da ciência enquanto prática social e modo específico de produção de conhecimento</p> <p>3. Processos através dos quais a ciência se integra e participa nas sociedades</p> <p>4. Compreensão dos processos e conhecimentos científicos como base de um novo tipo de cultura e de desenvolvimento social</p>

Relativamente à UFCD STC-7, também não se encontram relações evidentes com a formação MM. Em conclusão, verifica-se uma grande identificação de conteúdos e competências com uma das UFCD de STC e alguma relação com os objectivos e competências de duas UFCD. Numa apreciação global, o formando não teria equivalência a nenhuma das UFCD de Sociedade, Ciência e Tecnologia.

Tabela 3-8: Correspondência de competências (UFCDs)

UFCD	Designação	Correspondência de competências		
		Significativa	Alguma	Inexistente
STC 1	Equipamentos – princípios de funcionamento	x		
STC 2	Sistemas Ambientais		x	
STC 3	Saúde – comportamentos e instituições			x
STC 4	Relações Económicas			x
STC 5	Redes de Informação e Comunicação		x	
STC 6	Modelos de Urbanismo e Mobilidade			x
STC 7	Saberes Fundamentais			x

No entanto, como o processo RVCC vai permitir que o formando demonstre todas as competências adquiridas ao longo da sua vida escolar, profissional e tempos livres, é muito provável que possa vir a adquirir uma certificação parcial, ou mesmo o diploma de conclusão de ensino secundário de acordo com a avaliação que o Júri efectuar da sua História de Vida e Portefólio Reflexivo de Aprendizagens. O importante é que a formação o motive para iniciar o processo de reconhecimento das suas qualificações profissionais.

3.3 Objectivos , conteúdos e competências

Tabela 3-9: Ficha de objectivos, recursos e actividades - Introdução ao curso. Plataforma Moodle.

Tema : Introdução ao curso. Plataforma Moodle	Nº de Sessões
Objectivos: <ul style="list-style-type: none"> • Proporcionar informação sobre os objectivos do curso • Desenvolver nos formandos competências de acesso à plataforma e de utilização das ferramentas informáticas 	Duração: Uma sessão presencial com a duração de 4 horas ³⁰
Conteúdos: <ul style="list-style-type: none"> • Ensino à distância na modalidade b-learning • Informação sobre os objectivos e metodologia do curso • Sessão prática de explicação da plataforma moodle 	
Actividades: <ul style="list-style-type: none"> • Discussão e esclarecimento de dúvidas • Actividades práticas com a plataforma moodle 	
Recursos: <ul style="list-style-type: none"> • Manual da Unidade Didáctica 1: Introdução ao e-Learning e à plataforma Moodle • Materiais disponibilizados na plataforma 	
Produção do formando para avaliação: Reflexão sobre os temas da formação em articulação com a experiência profissional de cada formando	

³⁰ A ajustar de acordo com o perfil dos formandos

Tabela 3-10: Ficha de objectivos, recursos e actividades - Manutenção industrial

Tema : Manutenção Industrial	Nº de Sessões
Objectivos: <ul style="list-style-type: none"> • Proporcionar informação sobre as grandes questões da manutenção • Desenvolver nos formandos competências de reflexão sobre os problemas da manutenção e de aplicação de melhoria da disponibilidade dos equipamentos 	Duração: Duas sessões online com a duração de 2 horas, cada ³¹
Conteúdos: <ul style="list-style-type: none"> • Problemas actuais da manutenção • Políticas e estratégias da manutenção 	
Actividades: <ul style="list-style-type: none"> • Realização de leituras e elaboração de glossário • Participação nas actividades propostas no fórum • Realização de exercícios e problemas 	
Recursos: <ul style="list-style-type: none"> • Manual da Unidade Didáctica 2: Qualidade, Fiabilidade e Manutenção (Temas: 3.5.1, 3.5.2, 3.5.7, 3.5.8, 3.5.9, 3.5.10 e 3.5.11) • Textos seleccionados e recursos online 	
Produção do formando para avaliação: <ul style="list-style-type: none"> • Trabalho de grupo • Glossário dos conceitos-chave do tema • Ficha de trabalho interactiva com exercícios e problemas • Reflexão sobre os temas da formação em articulação com a experiência profissional de cada formando 	

³¹ A ajustar de acordo com o perfil dos formandos

Tabela 3-11: Ficha de objectivos, recursos e actividades - Introdução ao TPM

Tema : Introdução ao TPM	Nº de Sessões
Objectivos: <ul style="list-style-type: none"> • Proporcionar informação sobre a Manutenção Produtiva Total • Desenvolver nos formandos competências de reflexão e de aplicação da manutenção autónoma 	Duração: Duas sessões online com a duração de 2 horas, cada ³²
Conteúdos: <ul style="list-style-type: none"> • TPM – Manutenção Produtiva Total 	
Actividades: <ul style="list-style-type: none"> • Realização de leituras e elaboração de glossário • Participação nas actividades propostas no fórum • Realização de exercícios e problemas • Visualização de filme 	
Recursos: <ul style="list-style-type: none"> • Manual da Unidade Didáctica 2: Qualidade, Fiabilidade e Manutenção (Tema 3.5.6, 3.5.8 e 3.5.9) • Textos seleccionados e recursos disponíveis online • Ficha de trabalho interactiva com exercícios e problemas 	
Produção do formando para avaliação: <ul style="list-style-type: none"> • Trabalho de grupo • Glossário dos conceitos-chave do tema • Ficha de trabalho interactiva com exercícios e problemas • Reflexão sobre os temas da formação em articulação com a experiência profissional de cada formando 	

³² A ajustar de acordo com o perfil dos formandos

Tabela 3-12: Ficha de objectivos, recursos e actividades - Lubrificação, Segurança e ambiente.

Tema : Lubrificação, Segurança e Ambiente	Nº de Sessões
Objectivos: <ul style="list-style-type: none"> • Proporcionar informação sobre a lubrificação, segurança no trabalho e a protecção do ambiente • Desenvolver nos formandos competências de reflexão e de aplicação da manutenção autónoma 	Duração: Duas Sessões online com a duração de 2 horas, cada ³³
Conteúdos: <ul style="list-style-type: none"> • Conceitos básicos de lubrificação • Aspectos básicos de segurança no trabalho • A manutenção e a protecção ambiental 	
Actividades: <ul style="list-style-type: none"> • Realização de leituras e elaboração de glossário • Participação nas actividades propostas no fórum • Realização de exercícios e problemas • Visualização de filme 	
Recursos: <ul style="list-style-type: none"> • Manual da Unidade Didáctica 2: Qualidade, Fiabilidade e Manutenção (Temas 3.5.4 e 3.5.5) • Textos seleccionados e recursos disponíveis online • Ficha de trabalho interactiva com exercícios e problemas 	
Produção do formando para avaliação: <ul style="list-style-type: none"> • Trabalho de grupo • Glossário dos conceitos-chave do tema • Ficha de trabalho interactiva com exercícios e problemas • Reflexão sobre os temas da formação em articulação com a experiência profissional de cada formando 	

³³ A ajustar de acordo com o perfil dos formandos

Tabela 3-13: Ficha de objectivos, recursos e actividades - Manutenção Preditiva (ou condicionada)

Tema : Manutenção Preditiva (ou condicionada)	Nº de Sessões
Objectivos: <ul style="list-style-type: none"> • Proporcionar informação sobre a Manutenção preditiva e inspecções. • Desenvolver nos formandos competências de reflexão e de realização de inspecções e manutenção condicionada 	Duração: Duas sessões online com a duração de 2 horas, cada ³⁴
Conteúdos: <ul style="list-style-type: none"> • Tipos de Manutenção • Manutenção Preditiva (ou condicionada) • Inspecções 	
Actividades: <ul style="list-style-type: none"> • Realização de leituras e elaboração de glossário • Participação nas actividades propostas no fórum • Realização de exercícios e problemas • Visualização de filme 	
Recursos: <ul style="list-style-type: none"> • Manual da Unidade Didáctica 2: Qualidade, Fiabilidade e Manutenção (Temas 3.5.3 3.5.10) • Textos seleccionados e recursos disponíveis online • Ficha de trabalho interactiva com exercícios e problemas 	
Produção do formando para avaliação: <ul style="list-style-type: none"> • Trabalho de grupo • Glossário dos conceitos-chave do tema • Ficha de trabalho interactiva com exercícios e problemas • Reflexão sobre os temas da formação em articulação com a experiência profissional de cada formando 	

³⁴ A ajustar de acordo com o perfil dos formandos

Tabela 3-14: Ficha de objectivos, recursos e actividades - Probabilidades, Fiabilidade e Qualidade

Tema : Probabilidades, Fiabilidade e Qualidade	Nº de Sessões
Objectivos: <ul style="list-style-type: none"> • Proporcionar informação sobre os conceitos fundamentais do cálculo de probabilidades, de Fiabilidade e Qualidade. • Desenvolver nos formandos competências de cálculo de probabilidades e de avaliação da fiabilidade. 	Duração: Seis sessões online com a duração de 2 horas, cada ³⁵
Conteúdos: <ul style="list-style-type: none"> • Cálculo de probabilidades • Qualidade • Fiabilidade, Manutibilidade e Disponibilidade 	
Actividades: <ul style="list-style-type: none"> • Realização de leituras e elaboração de glossário • Participação nas actividades propostas no fórum • Realização de exercícios e problemas • Visualização de filme 	
Recursos: <ul style="list-style-type: none"> • Manual da Unidade Didáctica 2: Qualidade, Fiabilidade e Manutenção (Temas 3.2, 3.3, 3.4 e 3.5.7) • Textos seleccionados e recursos disponíveis online • Ficha de trabalho interactiva com exercícios e problemas 	
Produção do formando para avaliação: <ul style="list-style-type: none"> • Trabalho de grupo • Glossário dos conceitos-chave do tema • Ficha de trabalho interactiva com exercícios e problemas • Reflexão sobre os temas da formação em articulação com a experiência profissional de cada formando 	

³⁵ A ajustar de acordo com o perfil dos formandos

3.4 Metodologia

Para a elaboração de um curso de desenvolvimento de competências profissionais dos operadores de produção e dos técnicos de manutenção, elaborou-se um curso online, baseado numa plataforma de aprendizagem Moodle. Esta modalidade de formação favorece a autonomia do adulto, o acesso a materiais didácticos de melhor qualidade e o desenvolvimento de competências no domínio das tecnologias da informação e da comunicação.

Para além da organização e estruturação das actividades procedeu-se à elaboração e publicação, para cada Unidade Didáctica de um manual e de alguns exemplos de recursos didácticos.

Na elaboração do curso serão considerados os contributos das várias teorias de aprendizagem e das teorias instrutivas, nomeadamente no que se refere aos contributos do Construtivismo, do Instrutivismo, do modelo de 4C/ID de Van Merriënboer, e da teoria da carga cognitiva.

Por exemplo, na organização e estruturação do curso serão consideradas as orientações de Gagné quanto à adequada concepção de um processo de aprendizagem, no que se refere à formulação dos objectivos, apresentação dos materiais de estudo, orientação da aprendizagem e avaliação dos pré-requisitos e dos novos conhecimentos, entre outros aspectos.

Ainda de acordo com o construtivismo, serão elaboradas propostas de actividades para possibilitar a integração do adulto em comunidades de aprendizagem e dessa forma realizar aprendizagens colaborativas, centradas e controladas pelo formando.

Também deverão ser consideradas as vantagens do modelo instrutivista para o ensino de competências específicas e levadas em conta as orientações da teoria 4C/ID de Van Merriënboer que recomenda, no desenvolvimento de competências complexas, a sua divisão, nas aptidões que as constituem.

De acordo com o Conectivismo, serão apresentadas propostas para que os adultos pesquisem, avaliem e dêem conhecimento no fórum, de outros recursos didácticos, adequados ao desenvolvimento das competências profissionais.

Finalmente, deverão ser ponderados os resultados da Teoria da Carga Cognitiva, no que se refere à optimização da carga cognitiva dos materiais didácticos. Após a elaboração das actividades o adulto recebe um feedback adequado. Esse feedback pode ser imediato (no caso das fichas de avaliação), presencial, por email ou através das redes sociais.

3.5 Recursos didácticos

Para a realização desta acção foram elaborados diversos recursos, para servirem de exemplo, nomeadamente os seguintes: um manual didáctico, para apresentação de conteúdos didácticos de forma adequada ao público-alvo da dissertação; uma aplicação excel para a resolução de exercícios de fiabilidade e uma aplicação interactiva para a proposta de actividades de consolidação/avaliação sumativa (ou formativa), elaborada com Latex/Adobe Acrobat.

3.5.1 Manual didáctico

Quando o formando inicia a formação deve aceder a toda a informação relevante sobre o curso, designadamente, objectivos, conceitos-chave, metodologia, conteúdos e avaliação, entre outros. Para disponibilizar os conteúdos podem ser utilizados diversos suportes, nomeadamente, páginas web, aplicações multimédia, livros, manuais didácticos, entre outros.

Embora os recursos multimédia e os recursos online tenham grandes potencialidades, os materiais impressos continuam a ser os mais utilizados e os que têm uma maior aceitação por parte dos diversos intervenientes numa acção formativa.

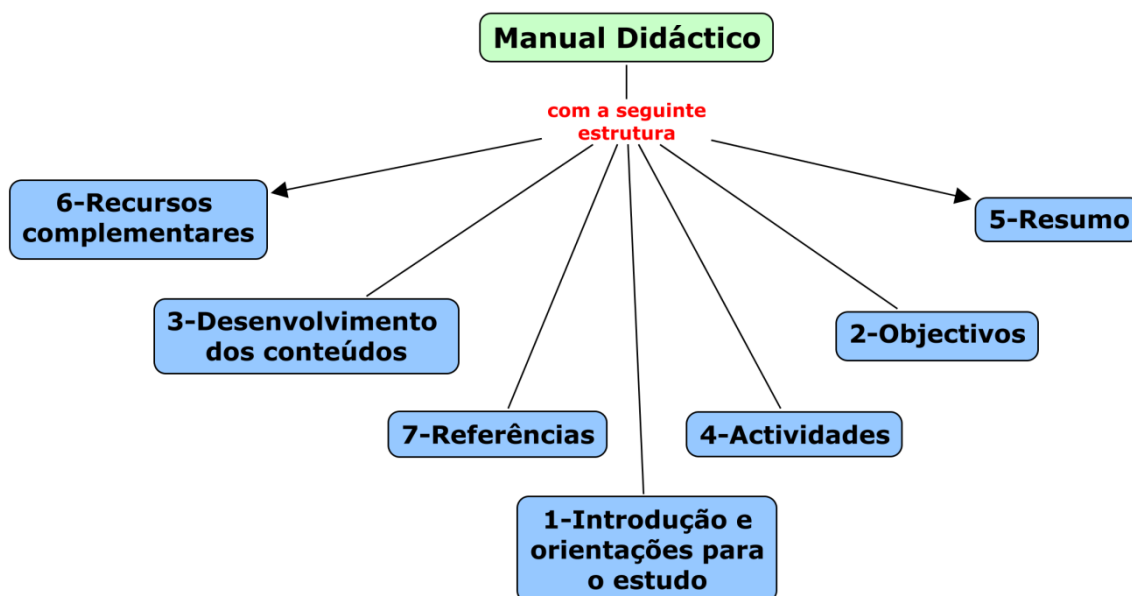


Figura 3-1: Estrutura do manual didáctico

Embora os recursos multimédia e os recursos online tenham grandes potencialidades, os materiais impressos, isto é recursos pedagógicos com suporte em papel, continuam a ser os mais utilizados devido às suas vantagens comparativas, designadamente a de permitirem o estudo em qualquer lugar.

Para os manuais didáticos elaborados para a presente acção de formação foi definida, de acordo com o que é seguido nas instituições de ensino à distância³⁶, a seguinte estrutura: Introdução e orientações para o estudo, Objectivos, Desenvolvimento dos conteúdos, Actividades, Resumo, Recursos complementares e Referências.

3.5.2 Aplicação Excel (problemas de fiabilidade)

Conforme já foi descrito, para fazer o estudo da fiabilidade dos equipamentos e modelar o seu comportamento são utilizadas diversas distribuições estatísticas: Exponencial, Weibull, Poisson, Normal, Gama e Binomial, entre outras. A utilização destas distribuições permite modelar a fiabilidade nos três períodos de vida (Weibull), dos equipamentos ou em apenas um deles (Exponencial, Poisson, etc.). A distribuição de Weibull permite caracterizar as avarias durante as diversas fases da vida de um equipamento (infância, vida útil e envelhecimento) e nomeadamente do tempo de vida de equipamentos sujeitos a fenómenos de degradação e desgaste.

Na função densidade de probabilidade, $f(t)$, a variável independente t representa o tempo, mas também pode representar, o números de ciclos de funcionamento e o número de quilómetros, entre outros exemplos.

$$f(t) = -\left[\frac{t-t_0}{\beta}\right]^{-1} e^{-\left(\frac{t-t_0}{\beta}\right)} \quad (3.1)$$

Essa função, com $t > t_0$, $t_0 \in \mathbb{R}$, $\beta > 0$, $\alpha < 0$, tem três parâmetros, α , β e t_0 , sendo:

α - Parâmetro de forma (sem unidades). Permite adaptar a forma dos gráficos, $h(t)$, às diferentes fases da vida de um equipamento. Traduz o mecanismo de degradação física da falha e quanto maior o seu valor mais a moda se desloca para a direita. Tem as seguintes características: $\alpha < 1$, temos o período de mortalidade infantil e a função de risco $h(t)$ é decrescente, se $\alpha = 1$, temos o período de vida útil e a função de risco é constante e se $\alpha > 1$, temos o período de degradação ou envelhecimento com a função de risco crescente.

t_0 - Parâmetro de localização, com as seguintes características: Se $t_0 > 0$, há sobrevivência total entre $t = 0$ e $t = t_0$; Se $t_0 = 0$, as avarias começam na origem dos tempos e se $t_0 < 0$, as avarias começam antes da origem dos tempos.

³⁶ Por exemplo, na Universidade Nacional de Educação à Distância de Espanha (UNED)

β - Parâmetro de escala. Caracteriza as condições de carga e ambiente, reais de utilização. Corresponde ao valor característico ou vida característica intervalo de tempo entre t_0 e t , no qual ocorrem 63,2% das falhas, restando portanto, 36,8% de itens sem falhar.

Utilizando a folha de cálculo Excel, efectuou-se a construção de duas aplicações, com dois gráficos. Num dos gráficos estão representados três funções de densidade de probabilidade, enquanto no outro se representam as quatro funções da fiabilidade.

3.5.2.1 Gráficos de funções de densidade de probabilidade

Para a elaboração desta aplicação utilizou-se, como base de trabalho, o gráfico elaborado por Rui Assis (2010) e fez-se a sua adaptação para permitir alcançar os objectivos didácticos e possibilitar a interactividade.

Após a construção da tabela com os valores da variável tempo, utilizou-se a função Weibull³⁷ do Excel para construir os gráficos de três funções de densidade de probabilidade. Para obter o *MTBF*, para cada combinação dos parâmetros, utilizou-se a função Gama do Excel.

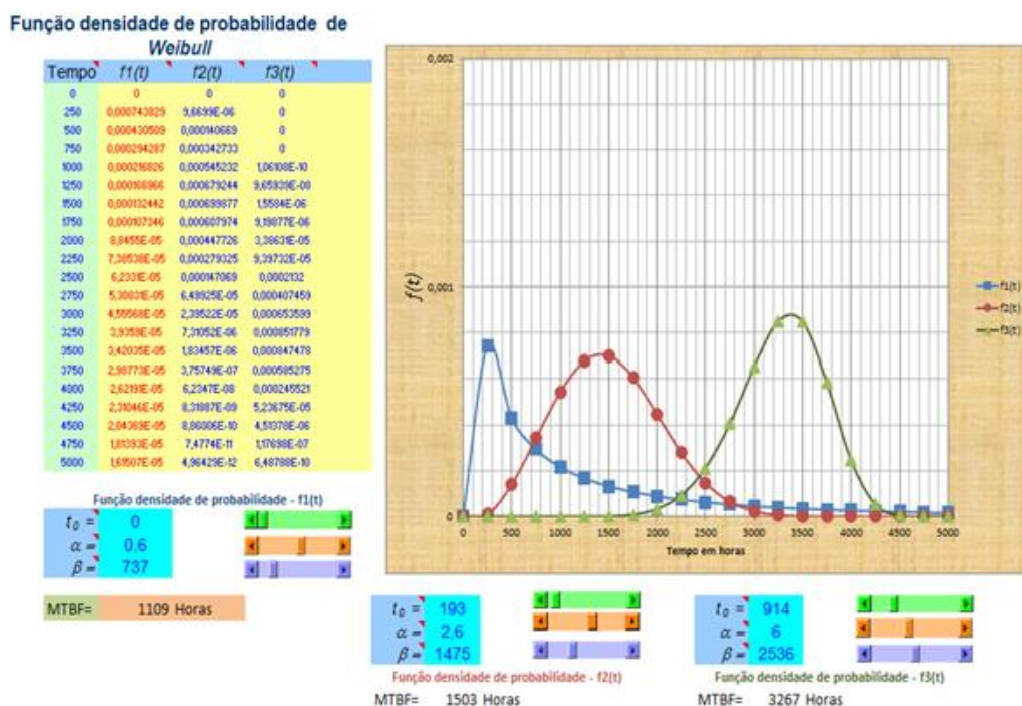


Figura 3-2: Funções de densidade de probabilidade para diversos valores de α

³⁷ Código: =IF(B5<=\$H\$31;0;WEIBULL(\$B5-\$H\$31,\$H\$32,\$H\$33;FALSE))

Para a construção dos botões que vão permitir modificar o valor dos coeficientes parâmetros, α , β e t_0 e possibilitar a interactividade recorreu-se à programação em Visual Basic, através do código:

Private Sub	Private Sub	Private Sub
ScrollBar1_Change()	ScrollBar4_Change()	ScrollBar7_Change()
ScrollBar1.Min = 0	ScrollBar4.Min = 0	ScrollBar7.Min = 0
ScrollBar1.Max = 4000	ScrollBar4.Max = 4000	ScrollBar7.Max = 4000
Cells(27, 3) =	Cells(31, 8) =	Cells(31, 14) =
ScrollBar1.Value	ScrollBar4.Value	ScrollBar7.Value
End Sub	End Sub	End Sub
Private Sub	Private Sub	Private Sub
ScrollBar1_Scroll()	ScrollBar4_Scroll()	ScrollBar7_Scroll()
ScrollBar1.Min = 0	ScrollBar4.Min = 0	ScrollBar7.Min = 0
ScrollBar1.Max = 4000	ScrollBar4.Max = 4000	ScrollBar7.Max = 4000
Cells(27, 3) =	Cells(31, 8) =	Cells(31, 14) =
ScrollBar1.Value	ScrollBar4.Value	ScrollBar7.Value
End Sub	End Sub	End Sub
Private Sub		
ScrollBar2_Change()	Private Sub	Private Sub
ScrollBar2.Min = 1	ScrollBar5_Change()	ScrollBar8_Change()
ScrollBar2.Max = 10	ScrollBar5.Min = 20.1	ScrollBar8.Min = 30.1
Cells(28, 3) =	ScrollBar5.Max = 29.9	ScrollBar8.Max = 100
ScrollBar2.Value / 10	Cells(32, 8) =	Cells(32, 14) =
End Sub	ScrollBar5.Value / 10	ScrollBar8.Value / 10
Private Sub	End Sub	End Sub
ScrollBar2_Scroll()		Private Sub
ScrollBar2.Min = 1	Private Sub	ScrollBar8_Scroll()
ScrollBar2.Max = 10	ScrollBar5_Scroll()	ScrollBar8.Min = 30.1
Cells(28, 3) =	ScrollBar5.Min = 20.1	ScrollBar8.Max = 100
ScrollBar2.Value / 10	ScrollBar5.Max = 29.9	Cells(32, 14) =
End Sub	Cells(32, 8) =	ScrollBar8.Value / 10
	ScrollBar5.Value / 10	End Sub
Private Sub	End Sub	
ScrollBar3_Change()	Private Sub	Private Sub
ScrollBar3.Min = 0	ScrollBar6_Change()	ScrollBar9_Change()
ScrollBar3.Max = 5000	ScrollBar6.Min = 0	ScrollBar9.Min = 0

Cells(29, 3) =	ScrollBar6.Max = 5000	ScrollBar9.Max = 5000
ScrollBar3.Value	Cells(33, 8) =	Cells(33, 14) =
End Sub	ScrollBar6.Value	ScrollBar9.Value
Private Sub	End Sub	End Sub
ScrollBar3_Scroll()	Private Sub	Private Sub
ScrollBar3.Min = 0	ScrollBar6_Scroll()	ScrollBar9_Scroll()
ScrollBar3.Max = 5000	ScrollBar6.Min = 0	ScrollBar9.Min = 0
Cells(29, 3) =	ScrollBar6.Max = 5000	ScrollBar9.Max = 5000
ScrollBar3.Value	Cells(33, 8) =	Cells(33, 14) =
End Sub	ScrollBar6.Value	ScrollBar9.Value
	End Sub	End Sub

Nesta aplicação, são apresentados os gráficos da função de densidade de probabilidade – Weibull, para diversos valores de λ , α e t_0 . Para cada curva os formandos poderão identificar os intervalos de crescimento e de decrescimento e comparar os gráficos de cada uma das funções. Também, poderão verificar, experimentalmente, que as outras distribuições (Exponencial, Normal, etc.), são casos particulares da distribuição de Weibull.

3.5.2.2 Gráficos das várias funções de fiabilidade

Nesta segunda aplicação são construídos os gráficos das quatro funções da fiabilidade, a função de fiabilidade ou de sobrevivência, $R(t)$ ³⁸, a função acumulada de probabilidade de falha, $F(t)$ ³⁹, a função densidade de probabilidade, $f(t)$ ⁴⁰ e a função de risco $h(t)$ ⁴¹, utilizando as função de Weibull do Excell e as relações entre as diversas funções, discutidas anteriormente.

Após a construção da tabela com os valores da variável tempo, utilizou-se a função Weibull⁴² do Excel para construir os gráficos de três funções de densidade de probabilidade. Para obter o *MTBF*, para cada combinação dos parâmetros, utilizou-se a função Gama do Excel.

³⁸ =1-D4

³⁹ =IF(B4<=\$C\$27;0;WEIBULL(\$B4-\$C\$27;\$C\$28;\$C\$29;TRUE))

⁴⁰ =IF(B4<=\$C\$27;0;WEIBULL(\$B4-\$C\$27;\$C\$28;\$C\$29;FALSE))

⁴¹ =IF(B4<=\$C\$27;0;C4/(1-D4))

⁴² Código: =IF(B5<=\$H\$31;0;WEIBULL(\$B5-\$H\$31;\$H\$32;\$H\$33;FALSE))

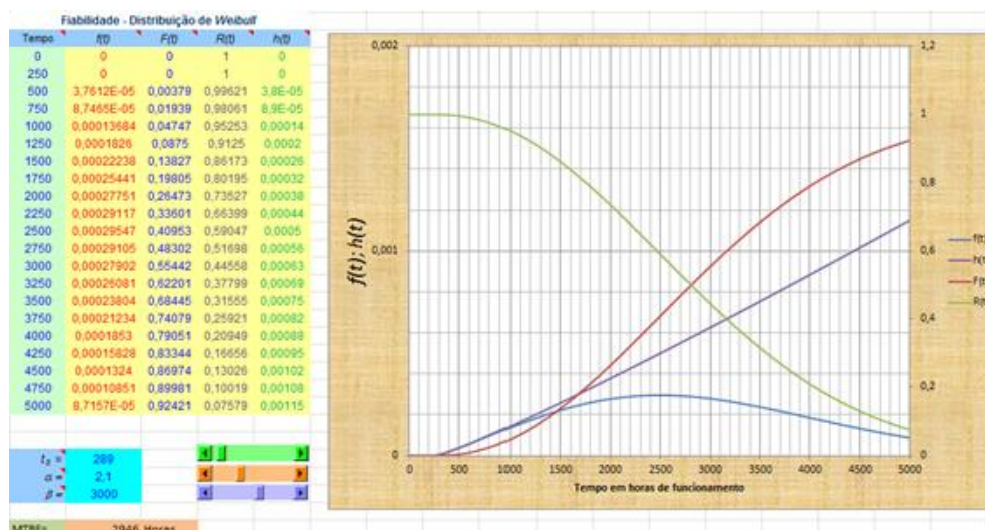


Figura 3-3: Estudo da fiabilidade – gráficos de funções

Para a construção dos botões que vão permitir modificar o valor dos coeficientes parâmetros, α , β e t_0 e possibilitar a interactividade recorreu-se à programação em Visual Basic, através de código equivalente ao apresentado para a aplicação anterior.

Através desta aplicação os alunos poderão comparar os gráficos das diversas funções, do modelo de Weibull, utilizadas no estudo da fiabilidade dos equipamentos. Utilizando os botões para inserir os valores de cada um dos parâmetros o formando pode obter o MTBF e outros valores, de acordo com o enunciado de cada um dos problemas.

3.5.3 Aplicação Latex/Acrobat (actividades)

É importante que os formandos possam receber “feedback” relativamente às actividades que realizam, de forma a saberem onde cometeram erros e poderem fazer uma avaliação diagnóstico dos seus conhecimentos e progressos obtidos.

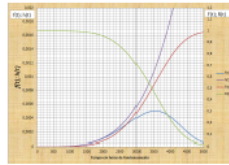
Da pesquisa realizada resultou uma ficha elaborada com o recurso ao software de distribuição livre LATEX, ao editor WinEdt 6 e ao Software Adobe Acrobat X Pro. Após a realização das actividades interactivas propostas na ficha o formando pode obter feedback imediato, no que se refere à correcção da resposta e fazer um teste diagnóstico com acesso à correcção e à classificação imediata das questões respondidas.



Indica, todas as opções que tiveres de afeitar

EXERCÍCIO 1. O comportamento de falha de um componente é descrito por uma função de probabilidade Weibull de parâmetros, $t_0 = 500$, $\alpha = 5$, $\beta = 3000$ horas.

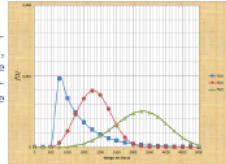
- Qual a probabilidade da sua vida não exceder 2800 horas?
- Qual é a probabilidade da sua vida exceder 4000 horas?
- Qual o tempo de vida do componente que apresenta uma probabilidade de 0,3 de não ser excedida?



EXERCÍCIO 2. Indique algumas causas gerais de falhas (ou avarias) dos equipamentos. Como as poderá reduzir?

EXERCÍCIO 3. Determinar a probabilidade de sobrevivência $R(t)$ e a probabilidade de falha $F(t)$, para um dispositivo que segue uma distribuição de Weibull, com parâmetro de escala, $\beta = 2000$ horas, parâmetro de forma, $\alpha = 3,5$ e parâmetro de localização, $t_0 = 150$ horas, para uma missão de:

- 1000 horas (b) 2000 horas (c) 3000 horas



EXERCÍCIO 4. Considere um equipamento cuja fiabilidade $R(t)$, no período de vida útil é dada pela expressão $R = e^{-\frac{t}{MTBF}}$ e probabilidade de avaria $F = 1 - R$. Para uma missão de 50 horas e um $MTBF$ de 100 horas, calcular:

- A fiabilidade
- A probabilidade de avaria

EXERCÍCIO 5. Enumere algumas causas para a ocorrência de uma elevada taxa de avarias no período de "envelhecimento" do equipamento. Como as minimizaria?

EXERCÍCIO 6. Diga o que entende por manutibilidade de um equipamento. Como poderá ser melhorada?

EXERCÍCIO 7. Considere um circuito electrónico com 3 transistores, 6 diodos, 12 resistências e 21 condensadores montados em série. Os valores das taxas de avarias são $\lambda_1 = 3 \times 10^{-5}$, $\lambda_2 = 2 \times 10^{-6}$, $\lambda_3 = 10^{-6}$, $\lambda_4 = 2 \times 10^{-6}$. Calcule:

- A taxa de avarias do conjunto (b) O tempo médio para falhar do sistema, $MTBF_s$ (c) A fiabilidade do sistema para um período de 1000 horas.



V.S.F.F.

Claudio Barros/20110915/Actividades/1

Para cada questão indique a resposta correcta

Início Teste

- Considere a curva de mortalidade (ou curva em banheira). Em que período da vida de um equipamento é constante a taxa de avarias?
(a) Infantil (b) Vida útil (c) Envelhecimento (d) Nenhum

- Foram testados para 500 horas, 10 aparelhos eléctricos e durante o ensaio ocorreram 4 falhas. Qual é o número de horas do $MTBF$?
(a) 1750 (b) 2250 (c) 1000 (d) 1250

- Um determinado Sistema Reparável tem um $MTBF$ de 500000 horas. Qual é a sua fiabilidade anual? (considere 1 ano = 365 dias)
(a) 89% (b) 98,3% (c) 92% (d) 100%



- Um dispositivo apresenta um comportamento de falha de acordo com uma função Weibull com os seguintes parâmetros ($t_0 = 650$, $\alpha = 3,5$ e $\beta = 3700$ horas). Ao fim de quantas horas, apresenta uma probabilidade de falha de 0,7?
(a) 8000 (b) 3200 (c) 4550 (d) 5500

- A função exponencial negativa é um caso particular da função de Weibull quando $\alpha = 1$ e $t_0 = 0$. Qual é, neste caso, a relação entre o $MTBF$ e o parâmetro de escala, β ?
(a) $MTBF = \beta$ (b) $MTBF \neq \beta$ (c) $MTBF = 2\beta$ (d) $MTBF = \frac{\beta}{2}$

- Um determinado componente tem uma taxa de falhas constante de 0,72 falhas por hora. Qual é a probabilidade de o aparelho falhar durante as primeiras 10 horas de operação?
(a) 90% (b) 99,9% (c) 95% (d) 82%

- Um componente apresenta um comportamento de falha modelado por uma função de Poisson com um $MTTF = 1000$ horas. Determine a probabilidade do componente funcionar 3000 horas sem falhas.
(a) 0,05 (b) 0,8 (c) 0,3 (d) 0,1

- Determine a disponibilidade de um Sistema Reparável com $MTBF = 500000$ horas e $MTTR = 500$ horas.
(a) 75% (b) 85% (c) 99,9% (d) 90%

Finaliza Teste

Porcentagem: Pontos: Correias: Nivel:

Nome: Nº:

Claudio Barros/20110915/Actividades/2

Figura 3-4: Ficha interactiva com autocorreção

As fichas foram elaboradas com recurso ao programa LATEX⁴³ e aos diversos *packages* referidos no preâmbulo do documento fonte, apresentado na tabela seguinte.

Após a digitação dos comandos e instruções no documento fonte, em linguagem de programação Latex, o compilador vai gerar ficheiros em vários formatos, designadamente no formato .dvi, a partir do qual se obtém o documento final(Salinas, Saorin, Ros, Ruiz, & Guillén, 2000).

Para conseguir a interactividade e a correcção imediata das respostas dos formandos recorreu-se ao conjunto de aplicações *The AcroTeX Education Bundle*, elaboradas por D. P. Story (2007), designadamente os *packages*, web e exerquiz.

Tabela 3-15: Cabeçalho do código fonte Latex

<pre>\documentclass[pdftex,12pt]{article} %\usepackage{techexpl} \newcommand{\ordm}{\textsuperscript{\underbar{\scriptsize o}}}</pre>	<pre>\textcolor{webgreen} {\ding{108}}. \end{minipage}} \end{center} }</pre>
--	--

⁴³ Obtido em <http://miktex.org/>

<pre> \newcommand{\ardm}{\textsuperscript{\underbar{\scriptsize a}}} \usepackage{amsmath} \usepackage[greek,portuguese]{babel} \usepackage{eurosym} \usepackage{graphicx,subfigure} %\usepackage[ps2pdf=true,pdfpagemode=FullScreen]{hyperref} \usepackage{graphicx} \usepackage[absolute]{textpos} \usepackage{paralist} \usepackage[pdftex,designi,nodirectory,latexlayout]{web} % dvipsone, dvips, pdftex, dvipdfm %\usepackage[dvips,tight,designvi]{web} % dvipsone, dvips, pdftex, dvipdfm \usepackage[brazil]{exerquiz} %[preview,proofing]{exerquiz} \usepackage[latin1]{inputenc} \usepackage[pdftex,a4paper,portrait,margin=6mm]{geometry} \usepackage{fancyhdr} \title{Ficha de Matemática e Fiabilidade} \author{César Barros} \subject{Atividades} \keywords{Manutenção, Fiabilidade, Lubrificação} \university{UNL\ Departamento de Engenharia Mecânica e Industrial} \email{mce.aeqc@gmail.com} \version{3.0} \copyrightyears{2011-\the\year} %\nocopyright \revisionLabel{} \squTurnOffAlerts %\sqCorrections % Uncomment this to obtain external links to exercise solutions. % \exerSolnsInExtFile[../]{extSolns/eqSol} % To insert a message on the cover page, uncomment the lines below, % and insert the 'nodirectory' option into the web package line above. \usepackage{pifont} \renewcommand\optionalpagematter{\par\minumskip\vspace{\stretch{1}}} \begin{center} \colorbox{blue}{webyellow}{ \begin{minipage}{.67\linewidth} \noindent\textcolor{red}{\textbf{Legend:}} In \hyperref[s:corrections]{Section~\ref{s:corrections}}, a </pre>	<pre> \newcounter{probno}[section] \renewcommand{\theprobno}{\thesection.\arabic{probno}} % % Define a problem environment with its own counter. \newenvironment{problem}{% \renewcommand\exlabel{Problem} \renewcommand\exlabelformat{\textbf{\exlabel\theprobno.}} \renewcommand\exsllabelformat{\noexpand\textbf{\exlabel\theprobno.}} \renewcommand\exrtnlabelformat{\$\blacktriangleright\$} \renewcommand\exsecrunhead{Solutions to Problems} \begin{exercise}[probno]} {\end{exercise}} %\input christ5.tex % Define a example environment with no counter \newenvironment{example}{% \renewcommand\exlabel{Example} \renewcommand\exlabelformat{\textbf{\exlabel.}} \renewcommand\exrtnlabelformat{\$\square\$} \SolutionsAfter \begin{exercise}[0]}% {\end{exercise}} %\makeatletter %\renewcommand\eq@beginQuiz{\eq@BeginQuizButton} %\renewcommand\eq@endQuiz{\eq@endQuizButton} %\makeatother \def\useFullWidthForPaper{% \ifeqforpaper \setlength{\textwidth}{6.5in} \setlength{\textheight}{10.5in} \oddsidemargin=0pt \evensidemargin=0pt \marginparsep=0pt \marginparwidth=0pt \fi } \useFullWidthForPaper \renewcommand\eqGradeScale{% "E",[90,100], "SB",[69,89], "ST",[50,68], </pre>
--	--

<code>\textcolor{red}{\ding{52}}</code> indicates that the student gave the correct response; a <code>\textcolor{red}{\ding{56}}</code> , indicates an incorrect response, in this case, the correct answer is marked with a	<code>"NS",[19,49],</code> <code>"MF",[0,19]</code> <code>}</code> <code>\begin{document}</code>
---	---

Após a instalação dos “packages”, designadamente dos web, exerquiz, eforms, insdljs e dljslib “packages”, elaboraram-se as fichas de exercícios interactivas de acordo com o respectivo manual de instruções(Story, 2007).

3.6 Avaliação

3.6.1 Avaliação dos formandos

Na realização de qualquer actividade formativa está incluída a avaliação, que permite identificar os progressos efectuados e saber se o formando adquiriu as competências definidas nos objectivos do curso.

Neste caso para além das actividades é solicitado que no final do curso o formando apresente um Portefólio Reflexivo de Aprendizagens Profissionais (PRAP), que inclua todos os materiais e actividades desenvolvidas ao longo da formação e um texto reflexivo e integrador das experiências profissionais do formando e competências desenvolvidas ao longo da formação, nas diversas áreas: Tecnologias da Informação e da Comunicação, Qualidade, Fiabilidade, Manutenção, Problemas Ambientais e Tribologia.

Para além de possibilitar a avaliação e a conclusão da acção formativa, este portefólio irá fazer a articulação com o ensino oficial e possibilitar a certificação parcial dos formandos que não tendo concluído o curso secundário desejem aproveitar esta formação para iniciar o processo de conclusão dos estudos secundários.

O trabalho final, consistindo num portefólio com reflexão sobre os temas da formação em articulação com a experiência profissional de cada formando é o elemento mais importante com 60% do total. A realização das diversas actividades terá uma valorização de 30% e a assiduidade e participação nos fóruns 10%.

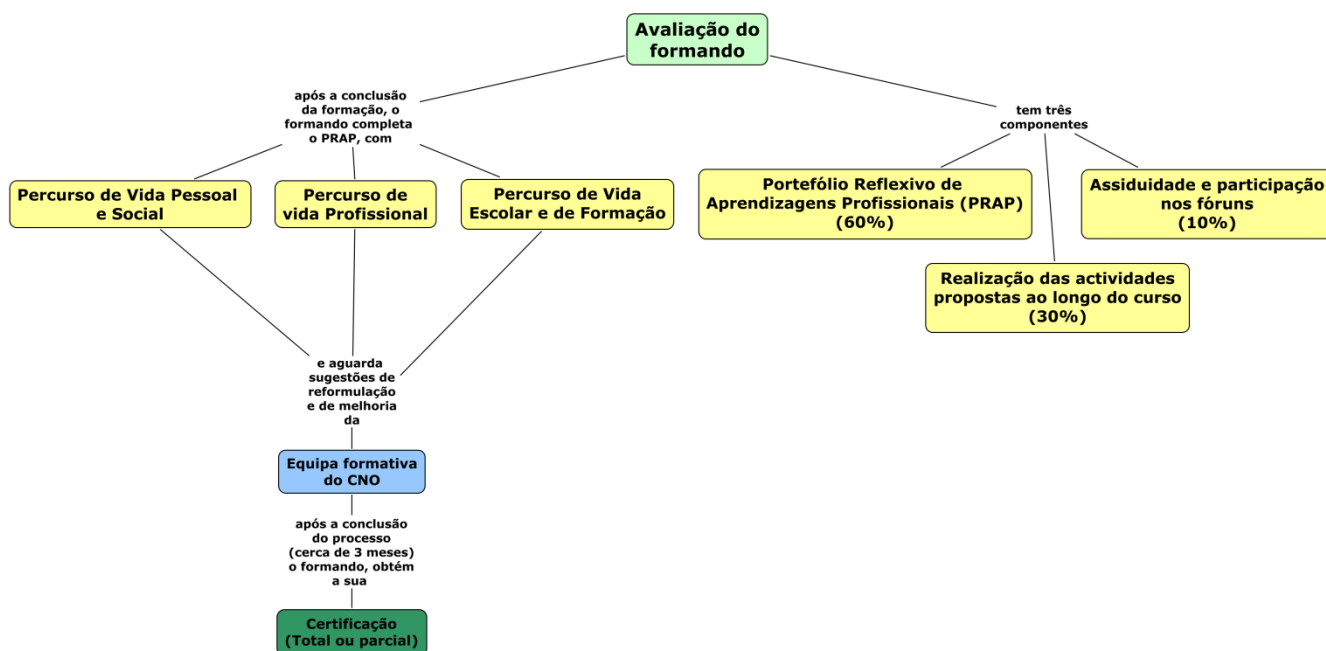


Figura 3-5: Avaliação do formando

Após a conclusão da formação o formando inicia o processo de certificação das suas competências, na modalidade que preferir, no Centro de Novas Oportunidades com quem a empresa estabeleceu o acordo. Esse portefólio é completado com o percurso de vida pessoal, percurso de vida profissional e percurso de vida escolar e formação. Para cada um destes percursos o formando elabora um texto reflexivo referindo o que foi importante, o que aprendeu e o que mudou na sua forma de estar e de agir. Posteriormente a equipa formativa do CNO apresentará as suas (eventuais) sugestões de melhoria e de reformulação. Após as quais, o formando poderá submeter-se à sessão de júri e obter a sua certificação.

3.6.2 Avaliação do curso

Para efectuar a avaliação do curso, no que se refere interesse do curso às metodologias e recursos utilizados é feito o preenchimento do questionário que se apresenta em anexo (Lisbôa, Jesus, Varela, Teixeira, & Coutinho, 2009). Para se concluir a adaptação deste questionário é necessário efectuar a sua validação empírica através de uma aplicação experimental a uma amostra de formandos. Também se pretende tirar conclusões sobre o interesse futuro desta forma de formação e recolher indicações sobre os seus pontos fracos e pontos fortes.

Através do questionário é possível conhecer aspectos relacionados com a utilização da plataforma Moodle, sobre o interesse do curso para a melhoria do desempenho profissional do formando e sobre a adequação das metodologias utilizadas. Após a recolha dos dados é

efectuado o respectivo tratamento estatístico com a aplicação de estes (qui-quadrado), tendo em vista analisar as hipóteses de investigação.

Tabela 3-16: Hipóteses de investigação e avaliação

Hipótese 1	H_1	A plataforma está a ser usada como meio de comunicação e de colaboração/interacção e não como repositório de recursos educativos
	H_0	A plataforma não está a ser usada como meio de comunicação e de colaboração/interacção mas sim como repositório de recursos educativos
Hipótese 2	H_1	Existe relação entre a formação ministrada e a qualidade do desempenho profissional
	H_0	Não existe relação entre a formação ministrada e a qualidade do desempenho profissional

Na fase de análise dos dados são utilizados os métodos da estatística descritiva na produção de gráficos e as hipóteses são submetidas a testes estatísticos (qui-quadrado), para se estudar a relação entre as variáveis. São elaboradas duas tabelas de contingência (4,4), para o estudo das variáveis. Na tabela, O_i , representa a frequência observada e E_i a frequência esperada.

Tabela 3-17: Tabela de contingência - Comunicação/Colaboração - Repositório de recursos educativos

Comunicação/colaboração	Repositório de recursos educativos								
	Total Desacordo		Desacordo		Acordo		Total Acordo		Total
	O_i	E_i	O_i	E_i	O_i	E_i	O_i	E_i	
Total Desacordo									
Desacordo									
Acordo									
Total Acordo									
Total									

Tabela 3-18: Tabela de contingência - Formação ministrada - Qualidade do desempenho profissional

Formação ministrada	Qualidade do desempenho profissional								
	Má		Razoável		Boa		Muito boa		Total
	O_i	E_i	O_i	E_i	O_i	E_i	O_i	E_i	
Má									
Razoável									
Boa									
Muito boa									
Total									

As colunas O_i , são preenchidas com os valores das frequências observadas. Para o cálculo das frequências esperadas E_i , é utilizada a fórmula (Fleming & Nellis, 2000):

$$E_i = \frac{\left(\frac{\text{Freq. total da linha } a}{\text{que pertence a célula}} \right) \times \left(\frac{\text{Freq. total da coluna } a}{\text{que pertence a célula}} \right)}{\text{Somatório das frequências de todas as células}} \quad (3.2)$$

Com base nos valores apresentados na tabela é efectuado o teste Qui-quadrado χ^2 para avaliar as hipóteses:

H_0 : as classificações são independentes

H_1 : as classificações são dependentes

A estatística χ^2 é calculada através da fórmula (Fleming & Nellis, 2000):

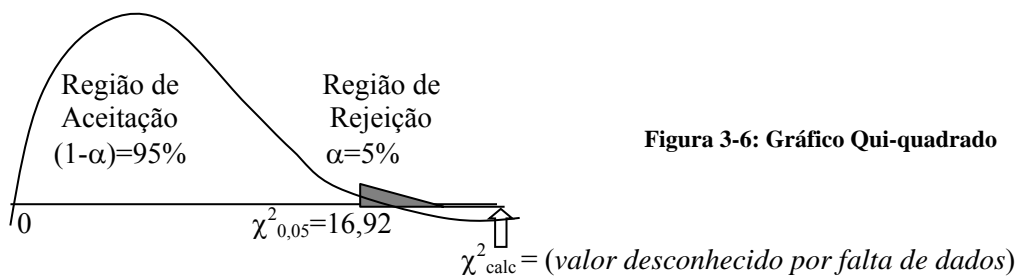
$$\chi^2_{\text{calc}} = \sum \frac{(O_i - E_i)^2}{E_i} \quad (3.3)$$

Onde o somatório é efectuado sobre as diferenças $(O_i - E_i)$, entre todos os pares das frequências observadas e esperadas.

Uma vez que cada uma das variáveis tem 4 modalidades sob H_0 , a estatística teste tem distribuição assintótica do Qui-quadrado com $(r-1)(s-1) = (4-1)(4-1) = 9$ graus de liberdade. Ao nível de significância de 5% (ou 0.05), por exemplo, o valor crítico é 16,92, isto é, consultando uma tabela com os valores da distribuição Qui-quadrado, obtém-se:

$$\chi^2_{0,05} = 16.92 \text{ (aproximadamente), com 9 graus de liberdade}$$

A hipótese nula (H_0), é rejeitada se $\chi^2_{\text{calc}} > \chi^2_{0,05}$, com 9 graus de liberdade



Quando a análise é efectuada através do software estatístico SPSS é necessário utiliza-se o p-valor, que é a probabilidade, sob a hipótese nula, de se observar um valor igual ou superior ao obtido. Os autores, para efeito de rejeição da hipótese nula definiram o nível de significância de $p < 0,05$ o que permite definir a seguinte regra de decisão (Dias, 2002):

$$\begin{aligned} p - \text{valor} > \alpha &\rightarrow \text{aceitar } H_0 \\ p - \text{valor} \leq \alpha &\rightarrow \text{rejeitar } H_0 \end{aligned}$$

De acordo com a descrição apresentada os autores do referido estudo(Lisbôa, Jesus, Varela, Teixeira, & Coutinho, 2009), obtiveram um valor de p (0,594) superior a $\alpha = 0,05$ e portanto a hipótese nula é aceite .

3.6.3 Proposta de Referencial

Para orientação dos diversos intervenientes na formação elaborou-se uma proposta de referencial de competências deste módulo de formação. Para além das competências são referidos os temas principais da formação, uma proposta de conteúdos e os conceitos-chave.

Entretanto, o bom desempenho profissional também requer o domínio das competências-chave relacionadas com as dimensões social, cultural e profissional, propostas pela Comissão Europeia(Europeia, 2006): *comunicação na língua materna; comunicação em línguas estrangeiras; competência matemática e competências básicas em ciências e tecnologia; competência digital; aprender a aprender; competências sociais e cívicas: espírito de iniciativa e espírito empresarial e sensibilidade e expressão culturais.*

Tabela 3-19: Referencial de competências - Modernização da Manutenção

MM-1	Modernização da manutenção	Carga horária 25 a 50 horas
Objectivos	<ul style="list-style-type: none"> • Opera com equipamentos e sistemas técnicos em contextos profissionais, identificando e compreendendo as suas normas de boa utilização e seus impactos nas organizações • Caracteriza a manutenção industrial, os diversos tipos de manutenção, a Manutenção Condicionada, a Manutenção Produtiva Total e a Manutenção baseada na Fiabilidade, definindo indicadores e objectivos • Reconhece a importância da qualidade e da fiabilidade no desenvolvimento industrial • Compreende os conceitos básicos associados à Tribologia e promove a preservação e melhoria da qualidade ambiental, através de práticas profissionais orientadas para a redução dos contaminantes ambientais. 	
Conteúdos	<p>1. A qualidade nas organizações produtivas Conceitos-chave: <i>Qualidade, Qualidade Total, Ferramentas da qualidade.</i> Conceitos da qualidade; Ferramentas da qualidade; Gestão das não conformidades; Processos de manutenção e sua ligação aos processos de produção.</p> <p>2. A fiabilidade na manutenção industrial Conceitos-chave: <i>Função de fiabilidade, Função acumulada de probabilidade de falha, Função densidade de probabilidade, MTTF, MTBF, MTTR, Manutibilidade, Disponibilidade, Sistemas Reparáveis.</i> Conceitos de fiabilidade. Indicadores de desempenho (MTBF, MTTF, MTTR, Disponibilidade e OEE). Manutibilidade. Fiabilidade de sistemas.</p> <p>3. A manutenção industrial na sociedade actual Conceitos-chave: <i>Manutenção Correctiva, Manutenção Preventiva, Manutenção Melhorativa, Manutenção Condicionada, Tribologia, Análise de óleo, Lubrificação, Problemas ambientais, Poluição do ar, Estratégia de manutenção, Indicadores de manutenção, Disponibilidade, Calibração, e-Manutenção, TPM, Perdas, OEE, RCM.</i> Introdução à manutenção, Tipos de manutenção; Filosofias utilizadas na gestão da manutenção. Objectivos e implementação do TPM. Indicadores de manutenção; Tribologia; Problemas ambientais; Calibração.</p> <p>4. Aspectos do raciocínio matemático fundamentais para a utilização e gestão de equipamentos e sistemas técnicos Conceitos-chave: <i>Probabilidade, Técnicas de contagem</i> Cálculo de probabilidades; procedimentos de cálculo da fiabilidade e dos indicadores de manutenção.</p> <p>5. As tecnologias de informação e comunicação (TIC) nos processos formativos Conceitos-chave: <i>e-Learning, b-Learning, LMS, Plataforma moodle</i> As potencialidades do e-Learning (e b-Learning). Utilização das TIC na formação. A plataforma Moodle.</p>	

4 Conclusões

Com o presente trabalho pretendeu-se mostrar a existência de processos expeditos para conceber e implementar sistemas avançados de formação e actualização profissional, cuja urgência e necessidade, decorrem da rápida desactualização de conhecimentos e da necessidade das empresas manterem elevados níveis de eficiência e competitividade para poderem sobreviver no mercado globalizado.

Também se propôs um sistema de formação flexível, baseado num referencial de competências e articulado com as entidades certificadoras, para facilitar a adaptação às necessidades da empresa e corresponder aos desejos dos trabalhadores de verem reconhecidas e certificadas as suas competências profissionais

Quando se pretende iniciar um processo formativo ele pode ter origem no fraco retorno financeiro, na incapacidade em responder às demandas da produção, nos elevados custos de manutenção, no excessivo número de avarias ou na má qualidade da produção. A proposta apresentada no presente trabalho, de modernização da manutenção é uma solução global que responde a todas essas situações.

A realização de um processo formativo inicia-se pela análise da situação e levantamento de necessidades. Só depois se seguem as fases seguintes de concepção e desenvolvimento, implementação, avaliação e melhoria. Neste trabalho, as fases de concepção e desenvolvimento, tiveram maior destaque devido à natureza do problema e por se tratar de uma situação hipotética.

Também os objectivos da formação foram formulados de forma genérica para permitir a sua adaptação a diversos contextos formativos. Terão de ser mais pormenorizados e quantificáveis, quando se trate de elaborar o plano de cada uma das aulas.

Relativamente aos recursos didácticos embora estivessem disponíveis opções de natureza multimédia e interactiva, mais atraentes, considerou-se que as opções tomadas são as mais económicas e eficazes. Um manual com os conteúdos devidamente estruturados e organizados. Gráficos interactivos para os formandos com reduzidos conhecimentos matemáticos poderem compreender e resolver problemas de fiabilidade e fichas inovadoras interactivas com autocorreção e feedback imediato para os formandos consolidarem as suas aprendizagens através da realização de um número adequado de problemas e exercícios.

O sucesso de um processo de implementação da Manutenção Produtiva Total está muito dependente do empenho e interesse dos trabalhadores pelos objectivos da empresa. Esta

proposta pretende contribuir para o reforço da motivação dos trabalhadores como contrapartida do esforço feita pela empresa na sua formação, qualificação e certificação.

É de referir que a presente proposta se enquadra nas orientações do Parlamento Europeu e do Conselho, no que se refere à modernização dos sistemas de educação e formação, à interligação entre a educação, a formação e o emprego, à criação de pontes entre a aprendizagem formal e não formal e à validação dos conhecimentos e competências adquiridos ao longo da vida (Parlamento Europeu, 2008).

Finalmente esta solução permite que os formandos aproveitem os espaços criados para constituir uma comunidade de aprendizagem que perdure no tempo e permita a melhoria das competências de todos os formandos /trabalhadores da empresa através da permanente interação e troca de experiências.

Entretanto, face à complexidade e vastidão dos temas abordados e às limitações temporais não foi possível uma maior concretização da proposta apresentada que incluísse (por exemplo) os planos de aula de cada uma das aulas e a elaboração de exemplos diversificados de utilização pedagógica das diversas ferramentas da Moodle.

Como sugestão para estudos posteriores sugere-se a análise de uma experiência real de formação *online* de operadores e técnicos de manutenção, ou de outras profissões congéneres, no âmbito de um processo de modernização empresarial ou de qualificação/reciclagem dos trabalhadores de uma empresa industrial.

Bibliografia

Albertazzi, A., & Sousa, A. (2010). *Fundamentos de Metrologia Científica e Industrial*. São Paulo: Editora Manole.

Altmann, C. (2005). *El análisis de aceite como herramienta del Mantenimiento Proactivo en flotas de Maquinaria Pesada*. Montevideo: Primeiro Congreso Uruguayo de Mantenimiento, Gestión de Activos y Confiabilidad.

Aretio, L. G. (2001). *La educación a distancia - De la teoría a la práctica*. Madrid: Ariel Educación.

Aretio, L. G., Corbella, M. R., & Figaredo, D. D. (2007). *De la educación a distancia a la educación virtual*. Barcelona: Editorial Ariel .

Armendáriz Sanz, J. L. (2010). *Calidad*. Madrid: Ediciones Paraninfo.

Assis, R. (2010). *Apoio à Decisão em Manutenção na Gestão de Activos Físicos*. Lisboa: Lidel - Edições Técnicas.

Assis, R. (1997). *Manutenção Centrada na Fiabilidade* . Lisboa: Lidel.

Batocchio, A., & Fioroni, M. M. (s.d.). *Empresas com arquitectura holónica: uma solução para o mercado de trabalho do próximo milénio*. Obtido em 15 de Julho de 2011, de <http://www.fem.unicamp.br/~defhp/gphms/artigo5.ps>

Bertsche, B. (2008). *Reliability in automotive and mechanical engineering*. Berlim: Springer.

Bertuci, J. L. (2008). *Metodologia básica para elaboração de trabalhos de conclusão de cursos (TCC)* . São Paulo: Editora Atlas.

Bhote, K. R. (1992). *Qualidade de Classe Mundial (WCQ): uso do projecto de experimentos para alcançá-la*. Rio de Janeiro: Qualitymark.

Bormio, M. R., Rodrigues, M. A., & Bormio, M. F. (2005). *O levantamento de perdas utilizando CAPDo do TPM numa linha de acabamento de agendas e cadernos em uma indústria gráfica*. Obtido em 20 de Dezembro de 2010, de XII SIMPEP – Bauru, SP, Brasil, 07 a 09 de novembro: http://www.simpep.feb.unesp.br/anais/anais_12/copiar.php?arquivo=Bormio_MR_Marco.pdf

Bresciani, T. A. (2009). *Impacto da utilização do TPM na Era das Máquinas Robóticas*. Obtido em 20 de Dezembro de 2010, de Universidade de São Paulo: http://stoa.usp.br/tiagobresciani/files/2113/11842/Tcc_TPM_TiagoAssisBresciani_Final.pdf

Cabral, J. P. (2009). *Gestão da Manutenção de Equipamentos Instalações e Edifícios*. Lisboa: Lidel - Edições Técnicas.

Cabral, J. S. (2006). *Organização e Gestão da Manutenção, dos conceitos à prática*. Lisboa: Lidel - Edições Técnicas.

Cardim, J. C. (2009). *Gestão da formação nas organizações - A formação na prática e na estratégia das organizações*. Lisboa: Lidel - Edições Técnicas.

Carreteiro, R. P., & Belmiro, P. N. (2006). *Lubrificantes & Lubrificação Industrial*. Rio de Janeiro: Editora Interciência.

Carrijo, J. R., & Lima, C. R. (2008). *Disseminação TPM – Manutenção Produtiva Total nas Indústrias Brasileira e no Mundo: Uma Abordagem Construtiva*. Obtido em 20 de Dezembro de

2010, de ABEPRO:

http://www.abepro.org.br/biblioteca/enegep2008_TN_STO_069_494_11021.pdf

Carvalho, J. A. (2010). *E-learning, Um factor dinâmico de sucesso em formação nas PME (Dissertação de Mestrado)*. Porto: Universidade Portuguesa Infante D. Henrique.

Carvalho, J. E. (2009). *Metodologia do Trabalho Científico*. Lisboa: Escolar Editora.

Cazorta, I. M. (2000). *Análise de dados categóricos*. Obtido em 5 de Janeiro de 2010, de Apostila de Estatística: <http://www.scribd.com/doc/22113952/VII-Analise-de-Dados-Categoricos-TATIANA>

CEFET. (2008). *Especialistas em qualidade*. Obtido em 15 de Agosto de 2011, de <http://espqualidade.blogspot.com/2008/12/rastreabilidade.html>

Correia Filipe, F. M. (2006). *Gestão e organização da manutenção, de equipamento de conservação e manutenção de infra-estruturas ferroviárias*. Obtido em 31 de Julho de 2011, de Tese de mestrado em manutenção industrial: <http://repositorio-aberto.up.pt/bitstream/10216/12374/2/Texto%20integral.pdf>

Creswell, J. W. (2007). *Qualitative Inquire & Research Design - Choosing among five approaches*. Lincoln: Sage Publications.

Cuatrecasas, L., & Torrell, F. (2010). *TPM en un entorno Lean Management*. Barcelona: Profit Editorial.

Dall'Acqua, C. T. (2003). *Competitividade e participação - Cadeias produtivas e a definição dos espaços geoeconómicos, global e local*. São Paulo: Annablume.

Dhillon, S. B. (2002). *Engineering maintenance: a modern approach*. Boca Raton: CRC Press LLC.

Dias, M. (2002). *Notas de aula - Inferência Estatística*. Obtido em 5 de Janeiro de 2011, de Universidade Federal da Bahia: <http://www.est.ufba.br/mat027/>

Didelet, F. (2003). *Fiabilidade (Apontamentos da disciplina de Fiabilidade)*. Setúbal: Escola Superior de Tecnologia de Setúbal.

Donato, V. (2011). *Metodologia para preservação de materiais - Prevenção da falha prematura*. São Paulo: Editora Érica.

Drucker, P. F. (2010). *As lições de Peter F. Drucker - O essencial sobre a gestão, a sociedade e a economia*. Lisboa: Verbo.

Eckes, G. (2004). *El six sigma para todos*. Bogotá: Grupo Editorial Norma.

Emmanouilidis, C., Labib, A., Franlund, J., Dontsiou, M., Elina, L., & Borcos, M. (2009). *Ilearn2main - An elearning system for maintenance management training*. Obtido em 16 de Novembro de 2010, de 4th Congress on Engineering Management: http://www.ilearn2main.eu/Dissemination/iLearn2Main_An_eLearning_System_for_Maintenance_Management_Training.pdf

EURAMET. (2008). *Metrology - in short*. Obtido em 15 de Agosto de 2011, de EURAMET project: http://resource.npl.co.uk/international_office/metrologyinshort.pdf

Europeia, C. (2006). *Competências-chave para a Aprendizagem ao Longo da Vida – Quadro de Referência Europeu*. Obtido em 10 de Setembro de 2011, de Jornal: <http://www.gepe.min-edu.pt/np4/255.html>

- Europeia, C. (2000). *Memorando sobre Aprendizagem ao Longo da Vida*. Obtido em 19 de Fevereiro de 2011, de Conselho Europeu de Lisboa: http://ec.europa.eu/education/lifelong-learning-policy/doc/policy/memo_pt.pdf
- Evans, J. R., & Lindsay, W. M. (2005). *The Management and Control of Quality*. Ohio: Thomson.
- Fáisca, L. (2010). *Seminários de métodos e análise de dados - Apresentação*. Obtido em 26 de Fevereiro de 2011, de Universidade do Algarve: http://w3.ualg.pt/~lfaisca/SMDA04/SMAD_04.pdf
- Farinha, J. T. (2011). *Manutenção- A terologia e as novas ferramentas de gestão*. Lisboa: Monitor.
- Fernández, F. J. (2005). *Teoría e práctica del mantenimiento industrial avanzado* (2nd ed.). Madrid: Fundacion Confemetal.
- Ferreira, L. A. (1998). *Uma Introdução à Manutenção*. Porto: Edições Técnicas.
- Figueiredo, F., Figueiredo, A., Ramos, A., & Teles, P. (2009). *Estatística Descritiva e Probabilidades - Problemas resolvidos e propostos com aplicações em R* (2nd ed.). Lisboa: Escolar editora.
- Fitch, J. C. (1993). *Manutenção proativa pode economizar 10 vezes mais do que práticas de*. Obtido em 20 de Dezembro de 2010, de SOTREQ: <http://www.sotreq.com.br/artigostecnicos/proativa.pdf>
- Fitch, J. (2007). *Cuatro contaminantes letales para el motor diesel*. Obtido em 31 de Julho de 2011, de Revista Machinery Lubrication: <http://www.machinerylubrication.com/sp/contacto.asp>
- Fleming, M. C., & Nellis, J. G. (2000). *Principles of Applied Statistics- An Integrated Approach using Minitab and Excel* (2nd ed.). London: Thomson Learning.
- Garrido, S. G. (2003). *Organización y gestión integral de mantenimiento*. Madrid: Ediciones Díaz de Santos.
- Gomes, J. (2010). *Poluição atmosférica- Um manual universitário* (2nd ed.). Porto: Publindústria.
- Gomes, M. d. (2006). *Referencial de competências-chave para a Educação e Formação de Adultos de Nível Secundário*. Obtido em 11 de Setembro de 2011, de Direcção-Geral de Formação Vocacional (DGFV): <http://www.catalogo.anq.gov.pt/boDocumentos/getDocumentos/145>
- Gomes, P. L., Pereira de Oliveira, V. B., & Nascimento, E. A. (2008). *Aspectos e impactos no descarte de óleos lubrificantes: o caso das oficinas*. Obtido em 13 de Agosto de 2011, de IV Congresso nacional de excelência em gestão: http://www.excelenciaemgestao.org/Portals/2/documents/cneg4/anais/T7_0035_0236.pdf
- Graells, P. M. (2003). *Criterios de calidad para los espacios web de interés educativo*. Obtido em 26 de Fevereiro de 2011, de <http://www.peremarques.net/calidad.htm>
- Heckert, C. R., Francischini, P. G., & Rotondaro, R. G. (1998). *QS-9000: A ISO já não é bastante*. Obtido em 20 de Dezembro de 2010, de Belo Horizonte, Vol 8, N.º 1: <http://www.scielo.br/pdf/prod/v8n1/v8n1a01.pdf>

- Henderson, G. R. (2006). *Six Sigma - Quality Improvement with MINITAB*. Chichester: John Wiley.
- Heredia Álvaro, J. A. (2004). *La gestión de la fábrica - Modelos para mejorar la competitividad*. Madrid: Ediciones Díaz de Santos.
- Hill, M. M., & Hill, A. (2009). *Investigação por questionário* (2nd ed.). Lisboa: Edições Sílabo.
- Holmberg, K., Adgar, A., Arnaiz, A., Jantunen, E., Mascolo, J., & Mekid, S. (Edits.). (2010). *E-maintenance*. London: Springer.
- IDC. (2003). *European business skills training defies slowdown to reach \$ 13 billion by 2006*. Obtido em 15 de Julho de 2011, de http://dspace.ou.nl/bitstream/1820/155/2/T2L_D21_final_public.pdf
- Jardine, A. K. (1973). *Maintenance, Replacement and Reliability*. London: Pitman.
- Kardec, A., & Nascif, J. (1999). *Manutenção. Função Estratégica*. Rio de Janeiro: Qualitymark.
- Keinert, T. M. (2007). *Organizações sustentáveis: utopias e inovações*. São Paulo: Annablume.
- Lebrun, M. (2002). *Teorias e métodos pedagógicos para ensinar e aprender*. Lisboa: Instituto Piaget.
- León, F. C., & Gómez, F. C. (1998). *Tecnología del mantenimiento industrial*. Murcia: Universidad de Murcia.
- Lima, J. R., & Capitão, Z. (2003). *E-Learning e E-Conteúdos. Aplicações das teorias tradicionais e modernas de ensino e aprendizagem à organização e estruturação de e-cursos*. Lisboa: Centro Atlântico.
- Lisbôa, E., Jesus, A., Varela, A., Teixeira, G., & Coutinho, C. (2009). *LMS em Contexto Escolar: estudo de caso sobre o uso da Moodle pelos docentes de duas escolas do Norte de Portugal*. Obtido em 20 de Dezembro de 2010, de Educação, Formação e Tecnologias - Vol. 2 , N.º 1: <http://eft.educom.pt/index.php/eft/issue/view/7>
- Lopes, A., & Picado, L. (2010). *Concepção e gestão da formação profissional contínua - da qualificação individual à aprendizagem organizacional*. Lisboa: Edições Pedagogo.
- Mason, R. (2001). *Models of Online Courses*. Obtido em 20 de Dezembro de 2010, de Ed at a distance-vol.15 N.º 7: http://www.usdla.org/html/journal/JUL01_Issue/article02.html
- Mendonça Dias, J. A. (2010b). *A Fiabilidade dos Sistemas de Componentes Independentes - Cap. 3 (Apontamentos da disciplina de Fiabilidade e Gestão da Manutenção)*. Lisboa: Universidade Nova de Lisboa.
- Mendonça Dias, J. A. (2010). *Conceitos Estatísticos mais utilizados em Fiabilidade - Cap. 1 (Apontamentos da disciplina de Fiabilidade e Gestão da Manutenção)*. Lisboa: Universidade Nova de Lisboa.
- Mendonça Dias, J. A. (2010c). *Distribuições de Probabilidade em Fiabilidade - Cap. 2 (Apontamentos da disciplina de Fiabilidade e Gestão da Manutenção)*. Lisboa: Universidade Nova de Lisboa.
- Mendonça Dias, J. A. (2002). *Fiabilidade em redes de distribuição de energia eléctrica. Tese de doutoramento em Engenharia Industrial*. Lisboa: Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa.

- Miranda, G. L. (2009). *Ensino Online e Aprendizagem Multimédia*. Lisboa : Relógio de Água, Editores.
- Mobley, R. K. (2002). *An introduction to predictive maintenance* (2nd ed.). Woburn: Butterworth-Heinemann.
- Mobley, R. K. (2004). *Maintenance Fundamentals* (2nd ed.). Boston: Elsevier.
- Moreira, J. M. (2004). *Questionários: teoria e prática*. Coimbra: Livraria Almedina.
- Muñoz-Repiso, A. G.-V. (2009). *Medios Videográficos*. Obtido em 20 de Dezembro de 2010, de Universidad de Salamanca: <http://web.usal.es/~anagv/arti4.htm>
- Natário, R. (2011). *Parâmetros da fiabilidade* . Obtido em 21 de Agosto de 2011, de Redes e servidores. Tendências e tecnologias de redes e servidores: <http://redes-e-servidores.blogspot.com/2011/02/alta-disponibilidademedicao-ii.html>
- Neves, J. H. (1989). *A Aprendizagem e a Eficiência Industrial*. Obtido em 20 de Dezembro de 2010, de Boletim Informativo do ISE n.º 8: <http://www.julio-neves.com/index.php?lop=conteudo&op=e4da3b7fbbce2345d7772b0674a318d5&id=e2ef524fbf3d9fe611d5a8e90fefdc9c>
- NSPE. (2011). *Code of Ethics*. Obtido em 15 de Julho de 2011, de <http://www.nspe.org/Ethics/CodeofEthics/CodeHistory/historyofcode.html>: <http://www.nspe.org/Ethics/CodeofEthics/CodeHistory/historyofcode.html>
- Oliveira, J. T. (1990). *Probabilidades e Estatística- Conceitos, métodos e aplicações*. Lisboa: Editora McGraw-Hill.
- Online_College. (2009). *100 Ways You Should Be Using Facebook in Your Classroom*. Obtido em 10 de Dezembro de 2010, de Online College: <http://www.onlinecollege.org/2009/10/20/100-ways-you-should-be-using-facebook-in-your-classroom/>
- Paladini, E. P. (1997). *Qualidade Total na Prática- Implementação e avaliação de sistemas de qualidade total* (2nd ed.). São Paulo: Editora Atlas.
- Parlamento Europeu. (6 de Maio de 2008). *Recomendação do Parlamento Europeu e do Conselho, de 23/4/08, relativo à instituição do Quadro Europeu de Qualificações para a aprendizagem ao longo da vida*. Obtido em 15 de Setembro de 2011, de Jornal Oficial da União Europeia: <http://eur-lex.europa.eu/pt/index.htm>
- Pedrosa, A. C., & Gama, S. M. (2004). *Introdução Computacional à Probabilidade e Estatística*. Porto: Porto Editora.
- Pereira de Almeida, P., & Rebelo, G. (2011). *A era da competência - um novo paradigma para a gestão de recursos humanos e o direito do trabalho* (2nd ed.). Lisboa: Editora RH.
- Peres, P., & Pimenta, P. (2011). *Teorias e práticas de b-learning* . Lisboa: Edições Sílabo.
- Pérez, F. M. (2002). *La tribología. Ciencia y técnica para el mantenimiento*. Balderas: Editorial Limusa.
- Pestana, D. D., & Velosa, S. F. (2002). *Introdução à probabilidade e à estatística*. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian.
- Pinto, C. V. (2002). *Organização e Gestão da Manutenção* . Lisboa: Monitor.
- Pinto, J. P. (2009). *Pensamento Lean*. Lisboa: Lidel - Edições Técnicas.

- Piotrowski, J. (2006). *Shaft alignment handbook*. Boca Raton: CRC Press.
- Pires, A. R. (2007). *Qualidade - Sistemas de Gestão da Qualidade* (3rd ed.). Lisboa: Edições Sílabo.
- Rich, N., Bateman, N., Esain, A., & Massey, L. (2006). *Lean Evolution. Lessons from the Workplace*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Roberts, J. (1997). *Total Productive Maintenance (TPM)*. Obtido em 20 de Dezembro de 2010, de Texas A&M University-Commerce: <http://et.nmsu.edu/~etti/fall97/manufacturing/tpm2.html>
- Rocha Loures, R. C. (2009). *Sustentabilidade XXI - Educar e inovar sob uma nova consciência*. São Paulo : Editora Gente.
- Rodrigues da Silva, J. P. (2009). *TPM - Introdução*. Obtido em 20 de Dezembro de 2010, de Lean Manufacturing: <http://leanemportugal.webs.com/formaotpm.htm>
- Roegiers, X., & De Ketele, J.-M. (2004). *Uma pedagogia da integração- Competências e aquisições no ensino*. Porto Alegre: Artmed.
- Rosa, E. (2002). *Modelos de aprendizagem a distância para adultos: um estudo experimental*. Lisboa: INOFOR.
- Salinas, B. C., Saorin, P. L., Ros, J. M., Ruiz, A. P., & Guillén, S. S.-P. (2000). *Latex - Una imprenta en sus manos*. Madrid: Aula documental de investigación.
- Santos, O. A., & Ramos, F. M. (2002). eLearning on demand: alguns problemas e soluções. In F. Ramos, & O. Jambeiro, *Internet e educação a distância* (pp. 92-117). Salvador: Editora da UFBA.
- Santos, W. A. (2007). *Tese de Doutouramento: Avaliação da Confiabilidade de Sistemas de Distribuição e Sub-Transmissão considerando Geração Distribuída*. Rio de Janeiro: Universidade Federal do Rio de Janeiro.
- Sarkar, S. (2010). *Empreendedorismo e Inovação*. Lisboa: Escolar Editora.
- Serra, M. L. (2008). Educação Médica Contínua - Motivações e metodologias de ensino-aprendizagem. (I. d. Saúde, Ed.) *Cadernos de Saúde*, 1 (2), pp. 103-134.
- Shankar, R. (2008). *An Introduction to Total Productive Maintenance (TPM)*. Obtido em 23 de Julho de 2011, de TPM [Internet]. Version 3. Knol: <http://knol.google.com/k/ravi-shankar/an-introduction-to-total-productive/26t6t5hqvxjh7/6>.
- Siemens, G. (2004). *Connectivism: A learning theory for the digital age*. Obtido em 4 de Novembro de 2010, de elearnspace: <http://www.elearnspace.org/Articles/connectivism.htm>
- Simonetti, M. J., Souza, A. L., Leandro, C. R., Trabachini, A., & Ell, S. M. (2010). *A manutenção centrada na confiabilidade - Uma prática contemporânea*. Obtido em 21 de Agosto de 2011, de http://www.revistasapere.inf.br/index.php?option=com_content&view=article&id=7:sapere-2-2&catid=7:edicoes&Itemid=8
- Siqueira, I. P. (2005). *Manutenção Centrada na Confiabilidade: Manual de Implantação*. Rio de Janeiro: Qualitymark.
- Solé, A. C. (2005). *Fiabilidad y Seguridad. Su aplicación en procesos industriales*. Barcelona: Marcombo.
- Solé, A. C. (1997). *Instrumentación Industrial* (6nd ed.). Barcelona: Marcombo.

- Sotreq. (2004). *O inimigo invisível*. Obtido em 20 de Dezembro de 2010, de Sotreq: http://www.sotreq.com.br/artigostecnicos/inimigo_invisivel.pdf
- Souris, J.-P. (1992). *Mantenimiento: Fuente de beneficios*. Madrid: Ediciones Diaz de Santos .
- Story, D. P. (2007). *The AcroTeX Education Bundle*. Obtido em 15 de Setembro de 2011, de <http://www.math.uakron.edu/~dpstory/webeq.html>
- Story, D. P., Gild, J., & Singer, S. (2007). *The Acrotex presentation bundle manual of usage*. Obtido em 10 de Setembro de 2011, de Acrotex software development team : http://www.acrotex.net/data/apb/manuals/apb_man.pdf
- Tavares, L. A. (1999). *Administração Moderna da Manutenção*. Obtido em 5 de Novembro de 2010, de [mantenimientomundial.com](http://www.mantenimientomundial.com): <http://www.mantenimientomundial.com/sites/Libro/lourival/default.asp?lang=POR>
- Texaco. (2005). *Fundamentos de lubrificação*. Obtido em 10 de Agosto de 2011, de Chevron corporation: <http://www.joinville.ifsc.edu.br/~antonio Brito/Manutencao%20Mecanica/Fundamentos%20de%20Lubrifica%C3%A7%C3%A3o%20-%20Texaco.pdf>
- Tóbon, S., Sánchez, A., Carretero, M., & García, J. (2006). *Competencias, calidad y educación superior*. Bogotá: Cooperativa Editorial Magisterio.
- Torres, L. D. (2005). *Mantenimiento su implementación y gestión*. Obtido em 4 de Novembro de 2010, de [mantenimientomundial.com](http://www.mantenimientomundial.com): <http://www.mantenimientomundial.com/sites/Libro/torres/default.asp?lang=ESP>
- Turner, C. R. (1999). *Reliability and Maintenance*. Belfast: University of Ulster.
- Valadares Tavares, M. M. (2010). *A gestão de pessoas. Novos rumos desta função nas organizações*. Lisboa: Universidade Lusíada.
- Valadares Tavares, M. M. (2010). *A gestão de pessoas. Novos rumos desta função nas organizações*. Lisboa: Universidade Lusíada Editora.
- Venkatesh, J. (2007). *An introduction to Total Productive Maintenance (TPM)*. Obtido em 2 de Março de 2011, de Plant Maintenance Resource Center: http://www.plant-maintenance.com/articles/tpm_intro.shtml
- Verri, L. A. (2007). *Gerenciamento pela qualidade total na manutenção industrial - aplicação prática*. Rio de Janeiro: Qualitymark.
- Wikipédia. (2011). *Poluição atmosférica*. Obtido em 20 de Agosto de 2011, de http://pt.wikipedia.org/wiki/Polui%C3%A7%C3%A3o_atmosf%C3%A9rica

ANEXO A – Questionário de avaliação do curso

Questionário de avaliação do curso

Este questionário tem por objectivo identificar as vantagens e desvantagens do curso que acabou de frequentar. A informação recolhida é confidencial e utilizável apenas no âmbito desta investigação. A sua colaboração é muito importante para o estudo em questão pelo que agradecemos, desde já, a sua resposta a este questionário.

Primeira parte

A. Quais as disciplinas que frequenta este ano?

☐ Qualidade

☐ Manutenção

☐ Equipamentos

☐ Outros: _____

B. Qual é a sua idade?

☐ Menos de 20
anos

☐ Entre 20 e 35
anos

☐ Entre 35 e 55
anos

☐ Mais de 55 anos

C. Quais são as suas habilitações?

☐ Básico

☐ Secundário

☐ Licenciatura

☐ Outro: _____

D. Costuma utilizar a Internet?

☐ Sim

☐ Não

E. Que tipo de aplicações informáticas costuma utilizar?

☐ Processadores de
texto

☐ Apresentações

☐ Motores de
busca

☐ Outras: _____

Segunda parte

A. Com que frequência utiliza a plataforma Moodle?

☐Diariamente ☐Semanalmente ☐Mensalmente ☐Outro: _____

B. Caracterize a forma como utiliza a plataforma Moodle.

Para cada afirmação assinale apenas a opção com a qual melhor se identifique.	Total Desacordo	Desacordo	Acordo	Total Acordo
1. Comunicação (envio de convocatórias, envio de documentos, divulgação de notícias, ...)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2. Colaboração/Interacção (conversas/discussões nos fóruns, chats, wikis, apresentação,...)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3. Disponibilização de informação (partilha de recursos, construção de glossários, base de dados, ...)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4. Recolha de informação (realização de testes, inquérito/questionário, recolha de trabalhos, ...)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

C. Qual a sua opinião sobre a facilidade de utilização da plataforma Moodle?

Para cada afirmação assinale apenas a opção com a qual melhor se identifique.	Total Desacordo	Desacordo	Acordo	Total Acordo
1. É fácil aceder ao site onde estão instalados os cursos.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2. É fácil a entrada na área do curso em que estou interessado.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3. A utilização das diversas ferramentas do moodle é fácil e intuitiva.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4. As funções de ajuda da plataforma são úteis e claras.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

D. Qual a sua opinião sobre o interesse dos temas do curso desenvolvido na plataforma Moodle?

Para cada afirmação assinale apenas a opção com a qual melhor se identifique.	Total Desacordo	Desacordo	Acordo	Total Acordo
1. Os temas estão relacionados com a minha actividade profissional.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2. Os temas abordados são interessantes	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3. Os temas seriam mais interessantes se não tivessem relacionados com a minha actividade profissional.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4. Os temas seriam mais interessantes se fossem propostos pelos participantes.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

E. Qual o seu grau de participação no curso desenvolvido na plataforma?

Para cada afirmação assinale apenas a opção com a qual melhor se identifique.	Nenhuma vez	Algumas vezes	Várias vezes	Muitas vezes
1. Acedeu ao curso e leu as actividades e as explicações teóricas.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2. Acedeu ao curso e leu os comentários dos colegas.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3. Acedeu ao curso leu as actividades sem ler as respostas dos colegas.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4. Acedeu ao curso e resolveu as actividades depois de ler os comentários dos colegas.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

F. Qual a sua opinião sobre a metodologia de construção do conhecimento utilizada no curso?

Para cada afirmação assinale apenas a opção com a qual melhor se identifique.	Total Desacordo	Desacordo	Acordo	Total Acordo
1. A metodologia de aprendizagem colaborativa é fácil de usar	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2. A metodologia de aprendizagem colaborativa é adequada à resolução de problemas.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3. A metodologia de aprendizagem colaborativa incentiva a resolução de problemas	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4. Dá gosto utilizar a metodologia de aprendizagem colaborativa	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

G. A participação no curso contribuiu para o desenvolvimento das suas capacidades e competências profissionais?

☐ Contribuiu muito ☐ Contribuiu ☐ Contribuiu pouco ☐ Não contribuiu

H. Indique aspectos positivos e negativos da formação realizada
